مجلة
العلوم
الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريًا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 27 ـ العددان 12/11
نوڤمبر/ ديسمبر 2011

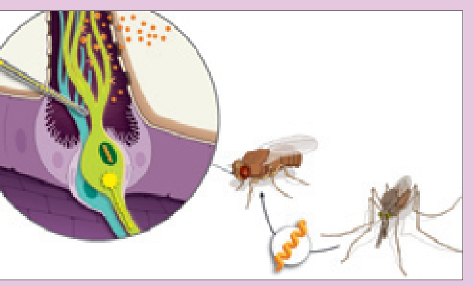
SCIENTIFIC AMERICAN
November / December 2011

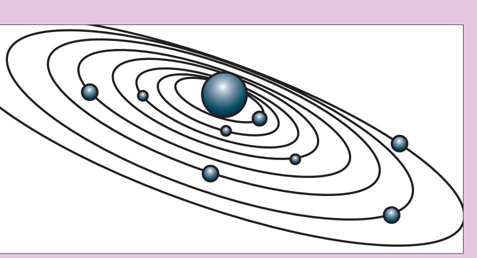
العددان: 283/ 284 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي

نشوء الأجداد


التخطيط للأمان من الحوادث النادرة للطاقة النووية

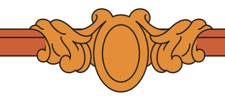

التحكم في الآلات بواسطة موجات الدماغ


كشف كيفية شمّ البعوض للإنسان قد يحدّ من انتشار الملاريا


الرحلة الكونية الأفعوانية العظيمة

كشّاف موضوعات العلوم 2011


ثوانٍ قبل الزلزال الكبير



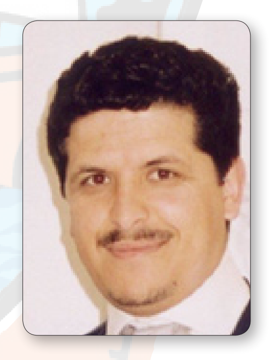
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
توزع جوائزها لعام 2010

جائزة الكويت لعام 2010

*تحقيقا للأهداف السامية **لمؤسسة الكويت للتقدم العلمي** في تدعيم الأبحاث العلمية وتشجيع الباحثين في الكويت والبلاد العربية الأخرى، تخصص المؤسسة خمس جوائز سنوية في العلوم الأساسية والتطبيقية والفنون والآداب والدراسات الاقتصادية والاجتماعية والتراث العلمي العربي والإسلامي.*

وقد فاز **بجائزة الكويت لعام 2010 في العلوم التطبيقية** (تقانة الطب الحيوي)

الأستاذ الدكتور حبيب زايدي



الأستاذ الباحث في مستشفى جامعة جنيف (سويسرا)، بالإضافة إلى عمله أستاذا غير متفرغ في هذه الجامعة.

وِلد الدكتور **زايدي** في **الجزائر** عام 1967، وحصل على الدكتوراه في الفيزياء الطبية من جامعة جنيف عام 2000، ونشر أو شارك في نشر 280 بحثا في التقانة الطبية؛ وبالأخص في: **تقانة الإشعاع وعلم الأعصاب**

لقد استطاع الدكتور **زايدي** أن يطور نموذجا رياضياتيا فعالا لمعادلة التناثر الإشعاعي باستخدام نظام الانبعاث البيزوترونى (PET) ونظام التصوير المغنطيسي (MRI). وهذا ما مكّنه من الحصول على معلومات بالغة الأهمية على مستوى الخلايا العصبية لجسم الإنسان.

يعد الدكتور **زايدي** من الشخصيات العالمية الرائدة في مجال تخصصه.

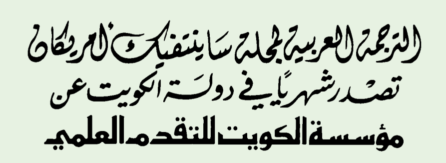
جائزة الإنتاج العلمي لعام 2010

*تقدم **مؤسسة الكويت للتقدم العلمي** جائزة سنوية في ستة مجالات تكريما **للنخبة المتميزة من أبناء الكويت وبناتها حملة الدكتوراه** في مختلف فروع المعرفة، وتشجيعا لهذه النخبة على المزيد من البحث والدراسة وتسخيرها لخدمة المجتمع.*

وقد فاز **بجائزة الإنتاج العلمي لعام 2010** كلٌّ من:

مجال الجائزة	اسم الفائز / الفائزة
العلوم الحياتية	**الدكتورة عفاف يعقوب الناصر** مديرة دائرة الزراعة في المناطق القاحلة والتخضير – معهد الكويت للأبحاث العلمية
العلوم الطبية	**الدكتور إبراهيم عبدالعزيز المزيرعي** مدير إدارة خدمات المختبرات الطبية – وزارة الصحة العامة – دولة الكويت
العلوم الاجتماعية والإنسانية	**الدكتور عبدالله خليفة الشايجي** رئيس قسم العلوم السياسية – كلية العلوم الاجتماعية – جامعة الكويت
العلوم الهندسية	**الدكتور عصام محمد العوضي** أستاذ مساعد ورئيس قسم الهندسة الميكانيكية – كلية الهندسة والبترول – جامعة الكويت
العلوم الطبيعية والرياضياتية	**الدكتور سعد علي مخصيد** أستاذ في قسم الكيمياء – كلية العلوم – جامعة الكويت

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
www.kfas.org
prize@kfas.org.kw

المجلد 27 ـ العددان 12/11 (2011)

284/283

مراسلات التحرير توجه إلى: رئيس تحرير مجلة العلوم

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

شارع أحمد الجابر، الشرق - الكويت

ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069

عنوان البريد الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw - موقع الوِب: www.oloommagazine.com

هاتف: 22428186(965+) - فاكس : 22403895(965+)

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	*	جنيه	الكويت	1.500	دينار	Britain	£	4
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	*	ليرة	Cyprus	Cl	2.5
البحرين	1.800	دينار	الصومال	*	شلن	ليبيا	*	دينار	France	€	6
تونس	2.5	دينار	العراق	–	–	مصر	7	جنيه	Greece	€	6
الجزائر	*	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	Italy	€	6
جيبوتي	*	فرنك	فلسطين	1.25	$	موريتانيا	*	أوقية	U.S.A.	$	6
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	Germany	€	6

[* ما يعادل بالعملة المحلية دولارا أمريكيا ونصف الدولار (USA $ 1.5)]

■ **مراكز توزيع العلوم في الأقطار العربية** (*انظر الصفحة 73*).

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة: تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

بزيارة موقع المجلة **www.oloommagazine.com** يمكن الاطلاع على مقالات الإصدارات المختلفة اعتبارا من العدد 1995/1.
كما يمكن الاطلاع على قاموس مصطلحات العلوم باتباع التعليمات الواردة على الصفحة الرئيسية للموقع.

يمكن تزويد المشتركين في العلوم بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:

1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel

2- اختر Regional and Language Options

3- اختر Arabic من قائمة Standards and Formats ثم اضغط OK

شارك في هذا العدد

نزار أبازيد
خضر الأحمد
جمال أصفهاني
علي الأمير
أحمد بشارة
عدنان جرجس
جمال حافظ
ابتسام حمد
مصطفى حموليلا
عدنان الحموي
أحمد الرحمون
أبوبكر سعدالله
محمد الشيخلي
إيهاب عبدالرحيم
فؤاد العجل
أحمد الكفراوي
منيرة المسلم
ليلى الموسوي



المقالات

ترجمة و مراجعة

التخطيط للأمان من الحوادث النادرة للطاقة النووية(*)

سلّط الحادث المروّع في فوكوشيما الضوء على جيل جديد من المفاعلات النووية الأمريكية. فهل هذا الجيل مأمون كفاية؟

<A. پيور>

على مسافة تقدر بنصف المسافة حول الأرض، بعيدا عن محطة الطاقة النووية اليابانية في **فوكوشيما دايتشي** Fukushima Daiichi التي ضربها الزلزال، يُعِدُّ مئاتُ العمال الأرضَ في عمق غابة جورجيا الصنوبرية لنهضة نووية أمريكية يعتقدون أنها قادمة. فالبلدوزرات تدمدم في غورِ هضبة من تراب الردم الطازج المرصوص الذي يغطي أميالاً من أنابيب ومصارف سيول الأمطار التي جرى طمرها مؤخرا. وإذا بقيت الخطط على مسارها، فإنه في وقت ما من عام 2012 سيُشْرع في إقامة مفاعلين نوويَّيْن جديدين على الأرض هما أول مفاعلين وافقت الولايات المتحدة على إنشائهما خلال أكثر من 25 عاما.

وسيكون ذلك بمنزلة طلقةِ البدء لاستئناف التوسع في الطاقة النووية بالولايات المتحِدة، الذي توقَف فعليا بعد الانصهار الجزئي في محطة <ثري مايل آيلاند> عام 1979. ومنذ ذلك الحين، حَوَّلَ شبحُ تغيرِ المناخ الطاقة النووية من تهديد للبيئة إلى مصدر محتملٍ للطاقة خال من الكربون. وقد أحاط كل من الرئيسين <جورج بوش> و<باراك أوباما> هذه التقانة بالرعاية على أمل إيجادِ تصميم جديد. وتقوم الآن **هيئة التنظيم النووي الأمريكيّة** (NRC)(1) بمراجعةِ اقتراحات لبناء 20 مفاعلا آخر إضافة إلى مفاعليْ جورجيا المذكوريْن والمئة والأربعة مفاعلات المبنية منذ عقود خلت.

إن أكثر من نصف عدد هذه المفاعلات الجديدة بما فيها وحدتيْ ڤوكتل Vogtle في وينسِبْورو بولاية جورجيا ستكون من طراز AP1000، وهي الأولى من جيل جديد يعتمد على ميزاتِ **الأمان السلبي** passive safety الرامية إلى تجنب وقوع كوارث تماثل تلك التي حدثت في اليابان. فإذا ما وقع حادث يعمد المفاعل إلى قوى طبيعية، مثل قوى الثقالة والتكثف، للمساعدة على حماية وقوده النووي من خطرِ فرطِ السخونة وهي ميزات كانت تفتقر إليها مفاعلات محطة فوكوشيما.

وقبل بضعة أشهر مضت بدا أن مفاعلي جورجيا AP1000 سيربحان رهانا جيدا حول المرحلة الأخيرة من مصادقة الهيئة NRC على إنشائهما في أواخر هذا العام. إلا أن محنة فوكوشيما في الشهر 2011/3 التي حدثت فيها هزّةٌ أرضيةٌ مروعة بلغت قوتها 9.0 درجات على مقياس ريختر وموجةُ تسونامي هائلة قد تركتا قلوب المفاعلات الساخنة الأربعة من دون سائل **تبريد** coolant، ولفتتا في المقام الأول أنظار الجمهور إلى التفكيرِ مرة أخرى في احتمالِ وقوع كارثة نووية.

(*) PLANNING FOR THE BLACK SWAN، العنوان الأصلي: تخطيط للبجعة السوداء، والبجعة السوداء "Black Swan" مجازاً تشير إلى الحالات النادرة أو التي يعتقد باستحالتها، لكنها قد تحدث فجأة. (التحرير)

(1) U.S. Nuclear Regulatory Commission

باختصار

قدّمت شركات مرافق الكهرباء اقتراحات لإنشاء 22 مفاعلا أمريكيا جديدا. وتخضع التصاميم للتدقيق مجددا للتأكد ما إن كانت ستصمد أمام الأخطار القصوى.

مواصفاتُ الأمان في التصاميم الجديدة تسهم بدورها خلال الحوادث، حتى عندما ينقطع التيار الكهربائي، ومن دون الحاجة إلى تدخل بشري.

الأسئلة المثارة حول المفاعل المرشح الرئيس، وستنكهاوس AP1000، يمكن أن تُعَقِّدَ المصادقة النهائية عليه من قبل هيئةِ التنظيم النووي الأمريكية.

وحتى لو قاومت التصاميم المتطورة الهزات الأرضية الهائلة والتسونامي، أو صدمة بطائرة، فما زال يتعين على شركات مرافق الكهرباء الموازنة بين تكلفةِ التصميم مقابل مكاسب الأمان.



المؤلف

Adam Piore

كاتب غير متفرغ في مدينة نيويورك، ومراسل صحفي سابق لمجلة **نيوزويك** Newsweek.
وهو يكتب أيضا عمود متابعة أخبار الاختراعات في مجلة ساينتفيك أمريكان.

وقد بينت استطلاعات الرأي خلال أسابيع أن نسبة الأمريكيين الذين يؤيدون المفاعلات الجديدة قد انخفضت عما كانت عليه قبل الحادثة من 49 إلى 41 في المئة، وهذا يعكس عدم الثقة في هذه التقانة على الرغم من التأكيدات التي تقول إن المخاطر **لامتناهية في الصغر** infinitesimal، وإن دفاعات المفاعل متينة. وقد أعطى مشهد فوكوشيما المروع درسا مباشرا في حدود تقييم المخاطر.

وعلى الرغم من التخطيط، تبقى الطاقة النووية دائما عرضة **لأحداث من نوع البجعة السوداء** black swan events. وهي أحداث نادرة، ولها عواقب وخيمة - وبخاصة تلك التي لم تقع سابقا قطٌّ - يصعب التنبؤ بها، والتخطيط لها باهظ التكاليف ومن السهل إهمالها إحصائيا. وإن كان من المفترض ألا يحدث أمر ما إلا مرة كل 10 000 عام فهذا لا يعني أنه لا يمكن أن يحدث غدا. وخلال العمر الاعتيادي لمحطة نووية - المقدر بنحو 40 عاما - يمكن أن تتغير الافتراضات أيضا، كما حدث بتاريخ 2001/9/11، أو في الشهر 2005/8 عندما ضرب إعصار كاترينا، أو في الشهر 2011/3 بعد كارثة فوكوشيما.

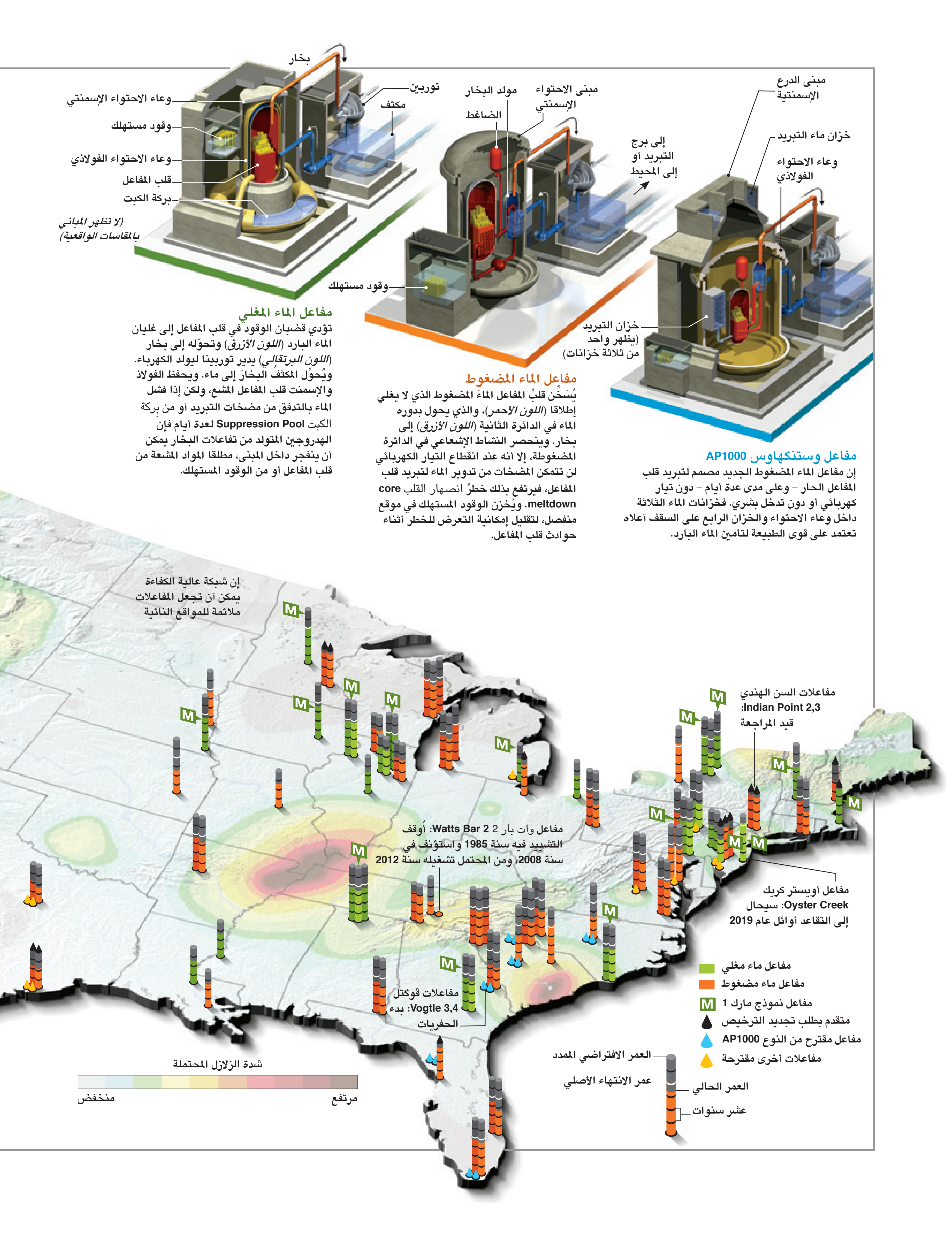
إن قائمة التهديدات المحتملة من نوع البجعة السوداء متنوعة الأشكال. فالمفاعلات النووية وبركُ وقودها المستهلك تُعدُّ أهدافا للإرهابيين من خاطفي الطائرات. وربما تُبنى المفاعلات وراء مصبات السدود والتي إن انفجرت يوما ما يمكن أن تطلق العنان لطوفانات عارمة. وبعض المفاعلات مقامة بالقرب من فوالق زلزالية، أو على شواطئ معرضة لموجاتِ تسونامي، أو لطفرة أمواج الأعاصير. ويمكن أن ينتج من أيٍ من هذه التهديدات سيناريو متناهي الخطورة، مثل تلك التي حدثت في ثري مايل آيلاند وفوكوشيما: الفشل الكارثي لسائل التبريد، والارتفاع المفرط للحرارة، وانصهار قضبان الوقود المشعة، والانبعاث المميت للمواد المشعة. (بينما أدت الانفجارات إلى اشتعال قلب مفاعل تشرنوبيل).

إن الاستعداد لمثل هذه السيناريوهات صعبٌ جدا بحد ذاته حتى من دون الالتزام بميزانية مالية محدّدة. وقد حاولت



شركات مرافق الكهرباء Utility Companies تخفيضَ التكاليفِ الضخمة المطلوبة في المراحل الأولى من بناء المفاعلات. وحتى لو بُسِّطت إجراءات الترخيص والتشييد، فما زالت المحطة النووية تكلف - في الوقت الحاضر - نحو ضعفيْ تكلفة البناء على أساس الميگاواط الواحد مقارنة **بمحطة تعمل بالفحم** coal plant، ونحو خمسة أمثال التكلفة لمحطة تعمل بالغاز الطبيعي. وهذا الفارق يمكن أن يُعَوَّضَ بتخفيض تكاليفِ التشغيل. فالفحم أغلى أربع مرات من الوقود النووي، في حين أن الغاز يكلف أكثر بعشر مرات. إلا أن هذه الوفورات تتحقق فقط عندما تعمل المحطات النووية **بقدرة عالية** high capacity ولسنوات عدة. ففي السبعينات والثمانينات من القرن الفائت تبددت مكاسب التشغيل عند توقف المحطات للصيانة ولقضايا الأمان أحيانا. ولكي تكون المحطات النووية منافسة لغيرها قام مسوقوها بمحاولةِ تقليص تكاليف بنائها وتقليل فترات توقفها، بجعل الأنظمة أكثر بساطة ووثوقا، مع عدم تجاوز هوامش الأمان.

وبالطبع، فمن المستحيل بناء مفاعل محصن لا يطاله أي


بخار
توربين
مكثف
وعاء الاحتواء الإسمنتي
وقود مستهلك
وعاء الاحتواء الفولاذي
قلب المفاعل
بركة الكبت
(لا تظهر المباني بالمقاسات الواقعية)
مولد البخار
مبنى الاحتواء الإسمنتي
الضاغط
إلى برج التبريد أو إلى المحيط
وقود مستهلك
مبنى الدرع الإسمنتية
خزان ماء التبريد
وعاء الاحتواء الفولاذي
خزان التبريد (يظهر واحد من ثلاثة خزانات)
مفاعل الماء المغلي
تؤدي قضبان الوقود في قلب المفاعل إلى غليان الماء البارد (اللون الأزرق) وتحوّله إلى بخار (اللون البرتقالي) يدير توربينا لمولد الكهرباء. ويُحوِّل المكثفُ البخارَ إلى ماء. ويحفظ الفولاذ والإسمنت قلب المفاعل المشع، ولكن إذا فشل الماء بالتدفق من مضخات التبريد أو من بِركة الكبت Suppression Pool لعدة أيام فإنّ الهدروجين المتولد من تفاعلات البخار يمكن أن ينفجر داخل المبنى، مطلقا المواد المشعة من قلب المفاعل أو من الوقود المستهلك.
مفاعل الماء المضغوط
يُسَخِّن قلبُ المفاعل الماءَ المضغوط الذي لا يغلي إطلاقا (اللون الأحمر)، والذي يحول بدوره الماء في الدائرة الثانية (اللون الأزرق) إلى بخار. وينحصر النشاط الإشعاعي في الدائرة المضغوطة، إلا أنه عند انقطاع التيار الكهربائي لن تتمكن المضخات من تدوير الماء لتبريد قلب المفاعل، فيرتفع بذلك خطرُ انصهار القلب core meltdown. ويُخزن الوقود المستهلك في موقع منفصل، لتقليل إمكانية التعرض للخطر أثناء حوادث قلب المفاعل.
مفاعل وستنكهاوس AP1000
إن مفاعل الماء المضغوط الجديد مصمم لتبريد قلب المفاعل الحار – وعلى مدى عدة أيام – دون تيار كهربائي أو دون تدخل بشري. فخزانات الماء الثلاثة داخل وعاء الاحتواء والخزان الرابع على السقف أعلاه تعتمد على قوى الطبيعة لتأمين الماء البارد.
إن شبكة عالية الكفاءة يمكن أن تجعل المفاعلات ملائمة للمواقع النائية
مفاعلات السن الهندي Indian Point 2,3: قيد المراجعة
مفاعل وات بار 2 Watts Bar 2: أُوقف التشييد فيه سنة 1985 واستؤنف في سنة 2008، ومن المحتمل تشغيله سنة 2012
مفاعل أويستر كريك Oyster Creek: سيحال إلى التقاعد أوائل عام 2019
مفاعلات ڤوگتل Vogtle 3,4: بدء الحفريات
مفاعل ماء مغلي
مفاعل ماء مضغوط
مفاعل نموذج مارك 1
متقدم بطلب تجديد الترخيص
مفاعل مقترح من النوع AP1000
مفاعلات أخرى مقترحة
العمر الافتراضي الممدد
عمر الانتهاء الأصلي
العمر الحالي
عشر سنوات
شدة الزلازل المحتملة
مرتفع
منخفض

تهديد كائنا ما كان، حتى ولو غلّفه المهندسون بجدران ضخمة لاحتوائه، ودفنوه في قبو لا يتسرب إليه الماء، وسخروا له جيشا من العرّافين للتنبؤ بالمستقبل. لقد حاول المهندسون - دون أدنى شك - أثناء تصميم المفاعل AP1000 اختيار أحسن السبل عبر القيود المتعددة التي تفرضها الفيزياء والتكلفة المادية والتخطيط للكوارث المحتملة. وما توصلوا إليه، بالضرورة، هو حلول توفيقية. في صحوة فوكوشيما كان السؤال الأول في أذهان الناس: «هل المفاعلات النووية مأمونة بما يكفي؟»

دفاع سلبي لمواجهة كوارث(**)

إن المفاعلات AP1000 وغيرها من النوع «Gen III+»، التي تخضع لمعاينة الهيئة NRC، قد صُمِّمَتْ بناء على تصور كوارث مختلفة عن تلك التي حدثت في اليابان. فالانصهار الجزئي عام 1979 لقلب مفاعل ثري مايل آيلاند، قرب هاريسبرگ، بولاية پنسلڤانيا، لم يكن ناشئا عن كارثة طبيعية، بل عن خطأ بشري بالدرجة الأولى. وخلال أشهر كان المهندسون يناقشون كيفية تحسين المفاعل وتبسيط ميزات الأمان وإضافة بدائل احتياطية لمياه التبريد، بحيث تعمل تلقائيا من دون تدخل بشري. ونتج من ذلك المفاعلات Gen III+ ومنها المفاعلات AP1000.

يدور ماء التبريد في داخل المفاعلات AP1000 عبر نظام مغلق من الأنابيب. فعندما يمر الماء فوق قلب المفاعل يمتص الحرارة من دون أن يتبخر، لأنه واقع تحت ضغط عال. والأنابيب بدورها تُبرَّد بالماء من خزان ثانوي. وإذا انقطع التيار الكهربائي عن المضخات، فهناك بطاريات احتياطية. وإذا فشلت هذه تولت القوى الطبيعية المسؤولية: حيث ينساب الماء إلى المفاعل من ثلاثة خزانات احتياطية محفوظة داخل قبة المفاعل المحاطة في وعاء فولاذي فوق قلب المفاعل [*انظر المخطط في الصفحة المقابلة*].

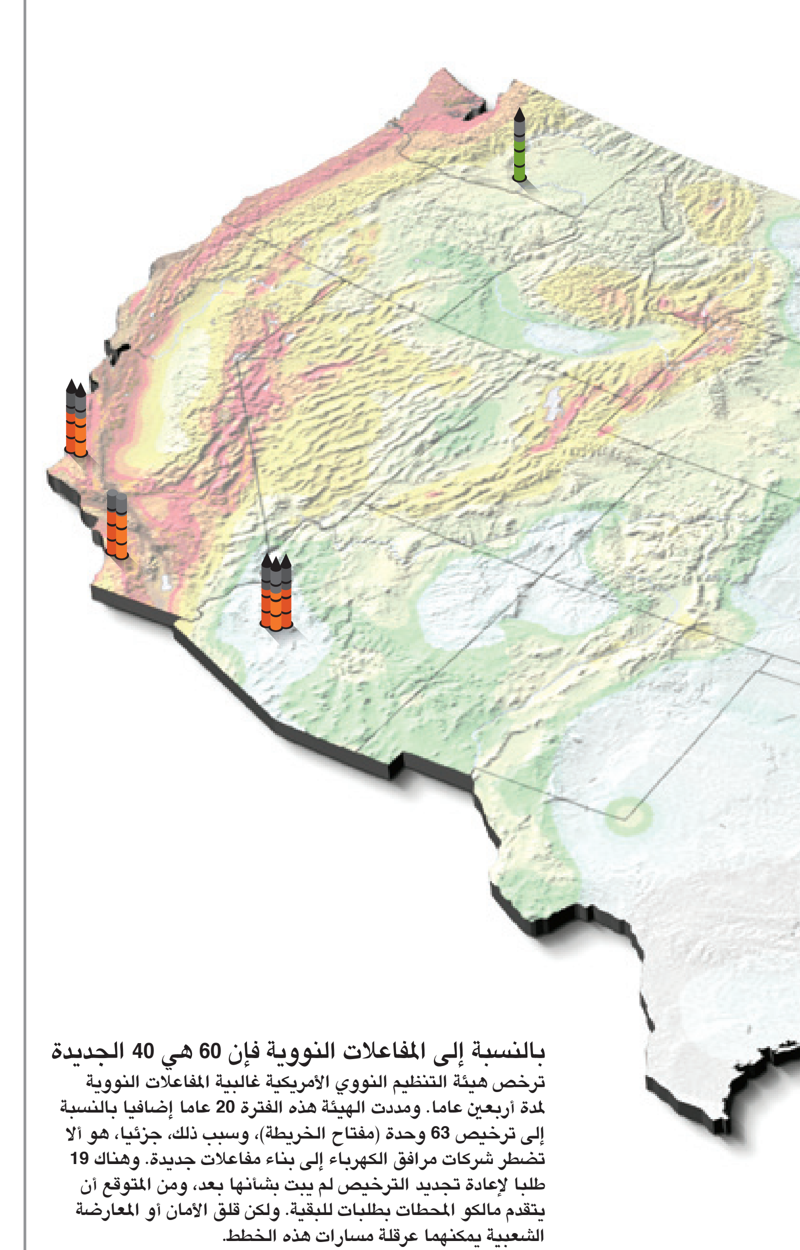
إن انقطاع التيار الكهربائي يُؤدي إلى فتح الصمامات؛ فيؤدي اختلافُ الحرارة والضغط بين قلب المفاعل والخزانات إلى تحريك ماء خزانِ التبريد إلى داخل وعاء المفاعل النووي لتبريد قضبان الوقود. وإذا لزم الأمر، فإن الماء الموجود في خزان ماء ضخم رابع في سقف الدرع الإسمنتية الخارجية للمفاعل يمكن أن يَصُبَّ مباشرة على سطح القبة الخارجي، مبددا الحرارة بغليانه وتحوله إلى بخار. وفي داخل القبة، يصطدم البخار الصاعد من قلب المفاعل بالسقف المبرَّد فيتكثف ويتساقط عائدا إلى قلب المفاعل. ويحوي هذا الخزان

(*) Aging Fleet under Review
(**) PASSIVE DEFENSE AGAINST CATASTROPHE

حقائق على الأرض

مفاعلات هَرِمة قيد المراجعة(*)

تولد الطاقة النووية 20% من إنتاج الكهرباء في الولايات المتحدة. وغالبية المفاعلات العاملة في الوقت الحاضر - والتي يبلغ عددها 104 مفاعلات - هي قيد الاستعمال منذ 30 سنة أو أكثر. ويقول النقاد إنها قد لا تتحمل هزة أرضية نادرة ولكنها مدمرة. وفي الشهر 2011/6 رفعت هيئة التنظيم النووي الأمريكية NRC دراسة تراجع الأمان النووي إلى البيت الأبيض. وتثير المفاعلاتُ التي تقع بالقرب من فوالق الهزات الأرضية الاهتمامَ (*انظر الخريطة*). وتصميم هذه المفاعلات إما من نوع الماء المغلي (*اللون الأخضر*) أو الماء المضغوط (*اللون البرتقالي*)، ويحوي 23 مفاعلا منها أبنية احتواء مماثلة للنموذج General Electric Mark I المستخدم في مفاعلات فوكوشيما دايتشي Fukushima Daiichi اليابانية المشلولة. وقد اقترحت شركات مرافق الكهرباء 22 مفاعلا جديدا بتصاميم أكثر أمانا. وسيكون أكثر من نصف عددها من النوع AP1000 (*اللون الأزرق*).



بالنسبة إلى المفاعلات النووية فإن 60 هي 40 الجديدة

ترخص هيئة التنظيم النووي الأمريكية غالبية المفاعلات النووية لمدة أربعين عاما. ومددت الهيئة هذه الفترة 20 عاما إضافيا بالنسبة إلى ترخيص 63 وحدة (مفتاح الخريطة)، وسبب ذلك، جزئيا، هو ألا تضطر شركات مرافق الكهرباء إلى بناء مفاعلات جديدة. وهناك 19 طلبا لإعادة تجديد الترخيص لم يبت بشأنها بعد، ومن المتوقع أن يتقدم مالكو المحطات بطلبات للبقية. ولكن قلق الأمان أو المعارضة الشعبية يمكنهما عرقلة مسارات هذه الخطط.



دليل دامغ: أثارت الانفجارات والإشعاعات المتحررة من محطة فوكوشيما دايتشي اليابانية تساؤلات عن أمان المفاعلات من الطراز القديم العاملة في الولايات المتحدة.

الرابع ما مقداره 000 795 گالون من الماء، وهو ما يكفي للعمل من دون توقف لمدة ثلاثة أيام. ويمكن إعادة ملء الخزان بخرطوم ماء، على حد قول ‹H. بروشي› [المدير الرئيسي السابق في شركة وستنگهاوس Westinghouse]. وتسهم فتحات التهوية في مبنى المفاعل أيضا في إدخال الهواء الخارجي، مما يساعد على تبريد وعاء الاحتواء الفولاذي.

إن ميزات هذه البدائل الاحتياطية التي تجعل المفاعلات AP1000 أفضل من المفاعلات القديمة تعود إلى أنها لا تتطلب التيار الكهربائي أو التدخل البشري. ويحاجج أنصار الطاقة النووية في أن **انقطاع التيار عن المحطة** station blackout الذي ضرب فوكوشيما - أي انقطاع تيار الكهرباء عن الشبكة العامة، وأيضا عن المولدات الاحتياطية في الموقع، وهو ما أوقف كل مضخات التبريد - كان يمكن أن يكون أقلّ خطرا لو كانتْ تلك التجهيزات موجودة في المحطة. وحتى لو عَملت هذه الاحتياطات لبضعة أيام فقط لأتاح ذلك لمشغلي المَحطة الوقت الكافي لإعادة التيار الكهربائي إليها.

إن قدرة هذه الأنظمة على حماية قلب المفاعل من الانصهار وتسرب الإشعاعات إلى الجو من عدمه ما تزال مسألة جدلية. فأنصار التصاميم +Gen III يَدَّعون أنها آمنة على الأقل عشر مرات من المفاعلات على مستوى الوطن والبالغ عددها 104 مفاعلات عاملة. في حين أن هناك مهندسين آخرين أكثر تحفظا. إنّ ‹حسين خليل› [مدير دائرة الهندسة النووية في مختبر أرگون الوطني[1]] لن يذهب بالقول إلى أبعد من أنه: «من العدل القول إن المحطات +Gen III قد بلغت - من خلال الوسائل الطبيعية - درجة عالية من الأمان توازي التحسينات التي أضيفت إلى المحطات القائمة.»

ولا يرغب الناقد الصناعي ‹E. لايمان› حتى مجرد الاعتراف بذلك، وهو عالم مرموق في اتحاد العلماء المهتمين[2] (UCS). فقد تحدى ‹لايمان› خيارات معينة من تصميم موفر للتكلفة لكل من مفاعل وستنگهاوس AP1000 ومفاعل جنرال إلكتريك ESBWR (تصميم جديد آخر). وعلى رأس اهتمامات ‹لايمان› قوةُ وعاء الاحتواء الفولاذي وبناءُ الدرع الإسمنتية حول المفاعل AP1000. فعندما حقن المهندسون الماء في حاوية مفاعل فوكوشيما لتبريد القضبان المكشوفة، ظلوا يراقبون بقلق الضغط الناجم عن البخار واحتمال انفجار الهدروجين.

ويقول ‹لايمان› إنه ليس لوعاء احتواء المفاعل AP1000 هوامش أمان كافية. وأحد المقاييس التي يستعملها ‹لايمان› لقياس سعة حاوية مفاعل ومن ثم تحديد قابليته للثبات أمام ارتفاع الضغط هو نسبةُ طاقة المفاعل الحرارية إلى حجم حاويته. وفي حالة مفاعل وستنگهاوس AP600 - وهو مفاعلٌ سابقٌ جرى إيقافه لأنه يولّد طاقة صغيرة غير جذابة لشركات مرافق الكهرباء - كانت هذه النسبة نحو 885 قدما مكعبا لكل ميگاواط واحد. وهذه النسبة تساوي بالتقريب النسبةَ المعمول بها في معظم المفاعلاتِ العاملة بالماء المضغوط. ولكن عندما زادت وستنگهاوس حجم المفاعل إلى 1100 ميگاواط في المفاعل AP1000، لم تُزد سعةُ الحاوية بالتناسب؛ بل انخفضت النسبة إلى 605 أقدام مكعبة لكل ميگاواط، على حد قول ‹لايمان›. ويشير إلى أن أوعية الاحتواء والمباني الخرسانية «باهظة التكاليف».

ويجادل ‹بروشي› [من وستنگهاوس] في أن المفاعل AP1000 ما زال ضمن المجال المطلوب وفق تعليمات الهيئة NRC. ويضيف قائلا - ويوافقه على ذلك العديد من المهندسين النوويين المستقلين - إن التبريد الإضافي الذي توفره النظم السلبية سيؤدي في الغالب الأعم إلى انخفاض الضغط الذي سيواجه الحاوية أثناء حادث فادح. ومع ذلك، فإن ‹لايمان› قلقٌ من ارتفاع الضغط إلى أعلى مما يتوقعه كثير من المهندسين النوويين.

ويبدي ‹لايمان› قدرا أكبر من الرضا عن تصميم مفاعل أريڤا Areva EPR، وهو نموذجٌ طُوِّر بالتشاور مع شركات مرافق كهرباء ألمانية وفرنسية وهيئات رقابة أوروبية، ويخضع الآن لمراجعة الهيئة NRC. وبدلا من نظم الاحتياط السلبية، يمتاز تصميم أريڤا بأربعة مولدات ديزل رئيسة ومولدين ثانويين، كل منها محفوظ على انفراد في أبنية لا تنفذ إليها المياه، وتقع في جهات متقابلة من المحطة. وهكذا يستحيل تماما فشل المولدات كلها في آن واحد، وفق قول ‹M. بيريس› [نائب المدير العام للتقنية في مجموعة مفاعل

(١) Argonne National Laboratory
(٢) Union of Concerned Scientists

أريڤا وأعمال الخدمات[1]. وحتى لو فشلت المولدات بالفعل فللمفاعل EPR مبنى ذو حائط مزدوج وأكثر سماكة، إضافة إلى **مصيدة لقلب المفاعل** core catcher، وهي بنية تحتفظ بالوقود المنصهر وتحميه وتغلفه بماء ينساب بفعل الثقالة. وستمنع المصيدة قلب المفاعل المنصهر والمشع من التسرب إلى أرضية المفاعل.

أمان مقابل تكلفة(*)

لا يتوفر للمصممين النوويين ترف منع أي نمط من أنماط الكوارث. فهم بحاجة إلى أخذ الكثير من السيناريوهات بعين الاعتبار. والصعوبة تكمن في أن التهديدات المختلفة تتطلب إجراءات مختلفة. وأحيانا يؤدي الاستعداد لإجراء ما إلى تقليص جهود الاستعداد لإجراء آخر. وقد تكون أشد الانتقادات للمفاعلات الجديدة من النوع AP1000 – ذات الأمان السلبي – هو انتقاد ‹J. ما› [مهندس إنشائي أول في الهيئة NRC]. ففي عام 2009 أدخلت الهيئة تغييرا في شروط أمان المحطات عقب أحداث الحادي عشر من سبتمبر، يقضي بأن تُصمَّمَ جميع المحطات النووية لتصمد أمام ضربة مباشرة من طائرة. وبغية تنفيذ هذا الشرط الجديد قامت شركة وستنگهاوس بتغليف جدران البناء الإسمنتية بصفائح فولاذية.

في عام 2010 قدّم ‹ما› [وهو عضو في الهيئة NRC منذ تأسيسها في عام 1974] أول اعتراض أجراه خلال وظيفته، وذلك بعد موافقة الهيئة على قبول تصميم المفاعل AP1000. وحجته كانت في أن بعض أجزاء الكساء الفولاذي **هشة** brittle لدرجة أن طاقة الارتطام الناجمة عن ضربة الطائرة – أو من قذيفة طائشة بفعل الرياح – يمكن أن تحطم هذا الجدار. وقد خالفه الرأي في ذلك فريق من خبراء الهندسة الموظفين من قِبَل وستنگهاوس – والعديد من المهندسين الذين يقدمون النُصح للّجنة الاستشارية بشأن ضمانات المفاعلات في الهيئة NRC – إذ نصحوا اللجنة بالموافقة على التصميم.

ولكن قد توفر تصاميم أخرى جذرية أكثر هوامش أمان أكبر. فهناك مثلا ما يسمى **بمفاعلات الفرشة الحصوية** pebble bed reactors، وهو تصميم من التقنية +Gen III لا يزال في مرحلة التطوير، ويَعتمدُ استعمال الغاز بدلا من الماء لنقل الحرارة عن الوقود النووي، وقوامه آلاف الحبات الصغيرة من المادة المشعة المطمورة بين كرات من الگرافيت بحجم كرات التنس. فالگرافيت يبطئ سرعة الانشطار جاعلا قلب المفاعل أقل عرضة لارتفاع الحرارة المفرط، بينما غاز التبريد هو أقل قابلية إلى إحداث الانفجار من الماء الذي يتحول إلى بخار. كذلك فإن العديد من المفاعلات التي تسمى **المفاعلات النموذجية الصغيرة** small modular reactors، والتي تولد طاقة أقل ولكن تكلفتها أقل كثيرا من تكلفة المنشآت الكبيرة، تستحق الأخذ بعين الاعتبار لأنها تولد حرارة أقل، الأمر الذي يجعل تبريدها أسهل.

ويبدو أن أكثر الخبراء النوويين راضون عن الموازنة التي توصلت إليها وستنگهاوس بين الأمان والتكلفة، ويعتقدون أن بنية حاوية المفاعل توفر وقاية كافية ضد أكثر الكوارث. وفي النهاية، يتعين على المهندسين أن يختاروا السبيل الأفضل للموازنة بين الأمان والتكلفة.

قصور في الخيال(**)

ولكن كارثة فوكوشيما تطرح أسئلة تذهب إلى أبعد من خيارات التصميم. فأحد أسباب الكارثة كان قصورا في الخيال، وهي حالة يتعرض لها كل منظم أو مصمم. فقد شُيِّدَت محطة فوكوشيما لتصمد أمام هزة أرضية بقوة 8.2 (على مقياس ريختر)، والهزة 9.0 كانت ضمن هامش الأمان. وبينما بُنيت المحطة لتتحمل أمواج تسونامي بارتفاع 18.7 قدم، إلا أن ارتفاع الأمواج التي ضربت فوكوشيما كان 46 قدما. وأمواج من هذا الارتفاع ليست خارج المعتاد: هزة أرضية وتسونامي من مقدارين مقاربين ضربتا المنطقة في عام 869 بعد الميلاد، كما يقول ‹Th. بروشر› [مدير مركز علم الزلازل في إدارة المسح الجيولوجي الأمريكي **بحديقة منلو** Menlo Park بولاية كاليفورنيا]. وعندما يرتكب المهندسون مثل هذه الأخطاء في **أسس التصميم** design-basis – سواء لمفاعل أو لناطحةِ سحاب أو لجسر – تتهاوى جميع الرهانات.

ويبدو أن حدوث مثل هذا الخطأ المميت أقل احتمالا في الولايات المتحدة. إذ تتطلب هيئة التنظيم النووي الأمريكية NRC من المشغّلين إثبات أنه يمكن لمحطاتهم الصمود أمام أكبر طوفان أو تسونامي أو هزة أرضية ممكنة، استنادا إلى كل المعلومات المعروفة، «إضافة إلى هامش أمان إضافي»، وفق الناطق باسم الهيئة ‹B. أندرسون›. فالمعيار يقوم على نموذج يُقدِّرُ أكبر هزة أرضية حدثت في المنطقة في العشرة آلاف سنة الماضية. وعموما يكون هامش الخطأ الإضافي ما بين 1.5-2.0 مرة لذلك المقدار، كما يقول ‹B. ستوجادينوڤيك› [وهو خبير هندسة الزلازل بجامعة كاليفورنيا في بيركلي، ومستشار للهيئة].

(*) SAFETY VS. COST
(**) A FAILURE OF IMAGINATION
(1) Areva's Reactor and Services Business Group

التتمة في الصفحة 25



الرحلة الكونية الأفعوانية العظيمة[*]

هل يمكن للانتفاخ الكوني[1] أن يكون علامة على أن كوننا مطمور في عالم أكثر رحابة منه؟

<C. بيرگيس> – <F. كويڤيدو>

مفاهيم مفتاحية

- **نظرية الأوتار هي المرشح الأول لنظرية أساسية للطبيعة، لكنها تفتقر إلى اختبارات تجريبية. الانتفاخ الكوني هو الوصف الرئيسي للحظات الأولى للكون، لكنه يفتقر إلى شرح يستند إلى الفيزياء الأساسية. تُرى، هل يمكن أن توفر نظرية الأوتار حلا للمسائل التي يطرحها الانتفاخ، وبالعكس؟**
- **مع التقاء الأكوان المتوازية الناشئة عن نظرية الأوتار بعضها ببعض، أو مع إعادة تشكيل الأبعاد الإضافية للفضاء، فإن الفضاء الموجود ضمن كوننا قد يكون مدفوعا للتوسع بمعدل متسارع.**

ربما لا تظن أن الكوسمولوجيين قد يشعرون **بالخوف المرضيّ من الأماكن المقفلة أو الضيقة** claustrophobic في كون نصف قطره 46 مليون سنة ضوئية، ومملوء **بسكستليونات**[2] sextillions النجوم. ولكن أحد الأفكار الرئيسية الناشئة في كوسمولوجيا القرن الواحد والعشرين يذهب إلى أن **الكون المعروف**، وهو كل ما يمكننا رؤيته، ربما لا يكون سوى منطقة جد صغيرة في الامتداد الكامل للفضاء. وثمة أنماط مختلفة من أكوان متوازية، تُكوِّن **كونا متعددا** multiverse ضخما، غالبا ما تبرز بصفتها آثارا جانبية للنظريات الكوسمولوجية [انظر: *«أكوان*

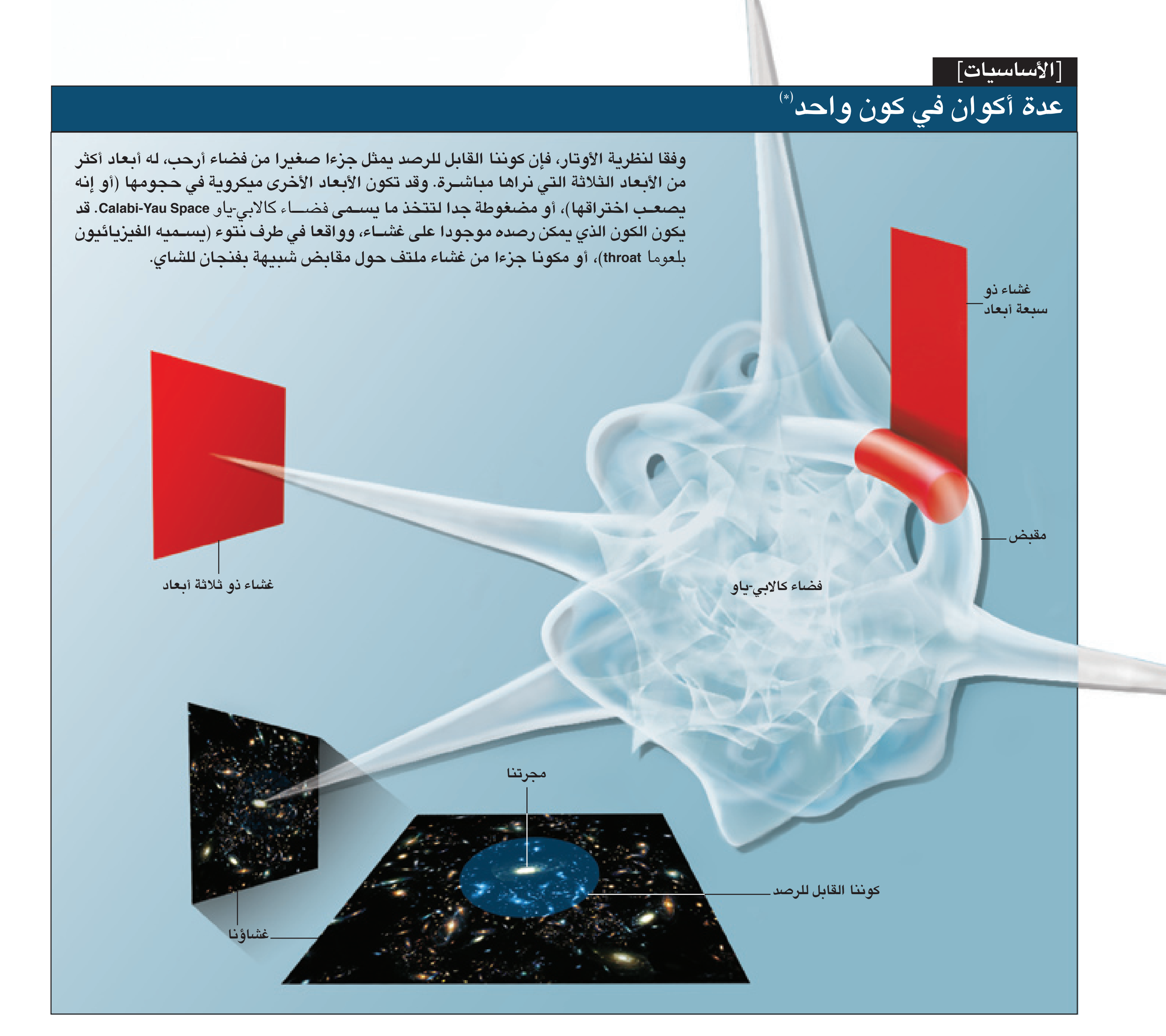
(*) THE GREAT COSMIC ROLLER-COASTER RIDE
(1) cosmic inflation
(2) السكستليون: عدد يساوي في الولايات المتحدة وفرنسا واحدا إلى يمينه 21 صفرا.



إلى حد ما يمكنك الإحساس به في معدتك: خلال حركة الأكوان عبر الأبعاد الإضافية في الفضاء (وهذا مبين هنا بأسلوب متميز). فهي قد تتوسع حجما، وهذا يولد أسرارا كوسمولوجية كثيرة. تحذير: إذا رغبت في القيام بالجولة الكونية، فيجب أن يكون طولك أقل من 10^{-18} متر.

عدة أكوان في كون واحد(*)

وفقا لنظرية الأوتار، فإن كوننا القابل للرصد يمثل جزءا صغيرا من فضاء أرحب، له أبعاد أكثر من الأبعاد الثلاثة التي نراها مباشرة. وقد تكون الأبعاد الأخرى ميكروية في حجومها (أو إنه يصعب اختراقها)، أو مضغوطة جدا لتتخذ ما يسمى فضاء كالابي-ياو Calabi-Yau Space. قد يكون الكون الذي يمكن رصده موجودا على غشاء، وواقعا في طرف نتوء (يسميه الفيزيائيون بلعوما throat)، أو مكونا جزءا من غشاء ملتف حول مقابض شبيهة بفنجان للشاي.



متكافئة»، **العلوم**، العدد 12/11 (2003)، ص 4]. والأمل ضئيل بأن نرصد مباشرة في وقت ما تلك الأكوان، وذلك إما لبعدها الشاسع عنا وإما لأنها منفصلة عن كوننا.

بيد أنه من الممكن أن تكون بعض الأكوان المتوازية منفصلة عنا، ومع ذلك يمكنها التفاعل مع كوننا؛ وفي هذه الحالة، بوسعنا تحري تأثيراتها المباشرة. وما جذب انتباه الكوسمولوجيين إلى احتمال وجود تلك العوالم هو **نظرية الأوتار** string theory، التي تُعد المرشحة الأولى لوضع **القوانين الأساسية في الطبيعة**(1) [انظر: «*الكون الذكي*»، **العلوم**، العددان 8/7 (2007)، ص 74: كتابان جديدان يقولان إن الوقت قد حان لإسقاط نظرية الأوتار. وانظر بهذا الصدد أيضا «*نظرية كل شيء اللامدركة*»، العددان 2/1 (2011)، ص 36]. ومع أن الأوتار الرمزية، التي سُميت نظرية الأوتار باسمها، صغيرة جدا، فإن المبادئ التي تحكم خاصياتها تتنبأ أيضا بأنواع جديدة من أشياء أكبر من الخيوط، تشبه **الأغشية** membranes، التي يُطلق عليها بالإنكليزية، اختصارا، اسم

(*) MANY UNIVERSES IN ONE

(1) the foundational laws of nature

branes. وبوجه خاص، قد يكون كوننا **غشاء** brane ثلاثي الأبعاد، موجودا ضمن فضاء ذي تسعة أبعاد. إن إعادة تشكيل فضاء ذي أبعاد أكثر، والتصادمات بين أكوان مختلفة، ربما أدت إلى بعض المظاهر التي يرصدها الفلكيون في أيامنا هذه.

وحديثا، تعرضت نظرية الأوتار لبعض التعليقات التي لا تصب في مصلحتها. فقد وجهت إليها **انتقادات متنوعة**(١) يقع جميعها خارج حدود هذه المقالة، ولكن أهمها أنه مازال يتعين اختبارها تجريبيا، وهذا انتقاد لنظرية الأوتار لا يعدو كونه تعبيرا بصيغة معدلة لصعوبة عامة في اختبار نظريات في قياسات بالغة الصغر. هذا وإن جميع القوانين الأساسية المقترحة تواجه المشكلة نفسها، ومن ضمنها مقترحات أخرى كمثل **الثقالة الكمومية العُروية** loop quantum gravity [انظر: «*ذرات المكان والزمان*»، **العلوم**، العددان 9/8 (2004)، ص 4]. ويواصل المتخصصون في نظرية الأوتار البحث عن طرائق لاختبار نظريتهم. وإحدى الطرائق الواعدة في هذا المضمار هي دراسة كيف يمكن للنظرية تفسير سمات خفية للكون، وفي مقدمتها الطريقة التي تغيرت بها سرعة توسع الكون مع الزمن.

نحو القيام برحلة(*)

لقد شهد عام 2008 الذكرى السنوية العاشرة للإعلان عن أن الكون آخذ في التوسع بسرعة متزايدة، مدفوعا في ذلك بأحد مكوناته الذي يُسمى **طاقة معتمة** dark energy. ويعتقد معظم الكوسمولوجيين أن ثمة حقبة زمنية للتوسع المتسارع، الذي يسمى **انتفاخا** inflation، حدثت قبل الذرات بوقت طويل، هذا إذا تجاوزنا ذكر المجرات. لقد كانت درجة حرارة الكون، بعد مدة قصيرة من حقبة الانتفاخ المبكرة تلك، أعلى ببلايين المرات من أي درجة حرارة رُصدت على الأرض. ويجد

قوى عَشرة(**)

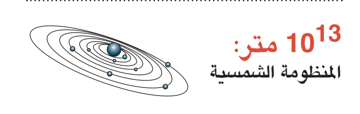
تحدث الظواهر الطبيعية بمقاييس عديدة. وتنزع التفصيلات الصغيرة إلى عدم التأثير في التشكيلات ذات المقاييس الكبيرة، وهذا يُصعِّب اختبار النظريات الكمومية للثقالة، كنظرية الأوتار. ولكن الانتفاخ الكوني يسمح للأشياء ذات الصغر الذي لا يمكن تصوره بالتأثير في أشياء كبيرة قياساتها فلكية.



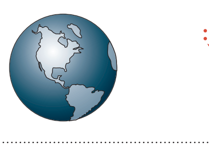
10^{26} متر: كون مرئي



10^{21} متر: مجرة درب التبانة



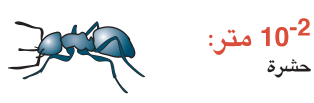
10^{13} متر: المنظومة الشمسية



10^{7} متر: الأرض



10^{-2} متر: حشرة



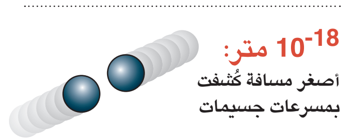
10^{-10} متر: ذرّة



10^{-15} متر: نواة ذرّية



10^{-18} متر: أصغر مسافة كُشفت بمسرعات جسيمات



من 10^{-18} إلى 10^{-35} متر: حجم نموذجي لأوتار أساسية وأبعاد إضافية



10^{-35} متر: أصغر طول ذو معنى في الطبيعة

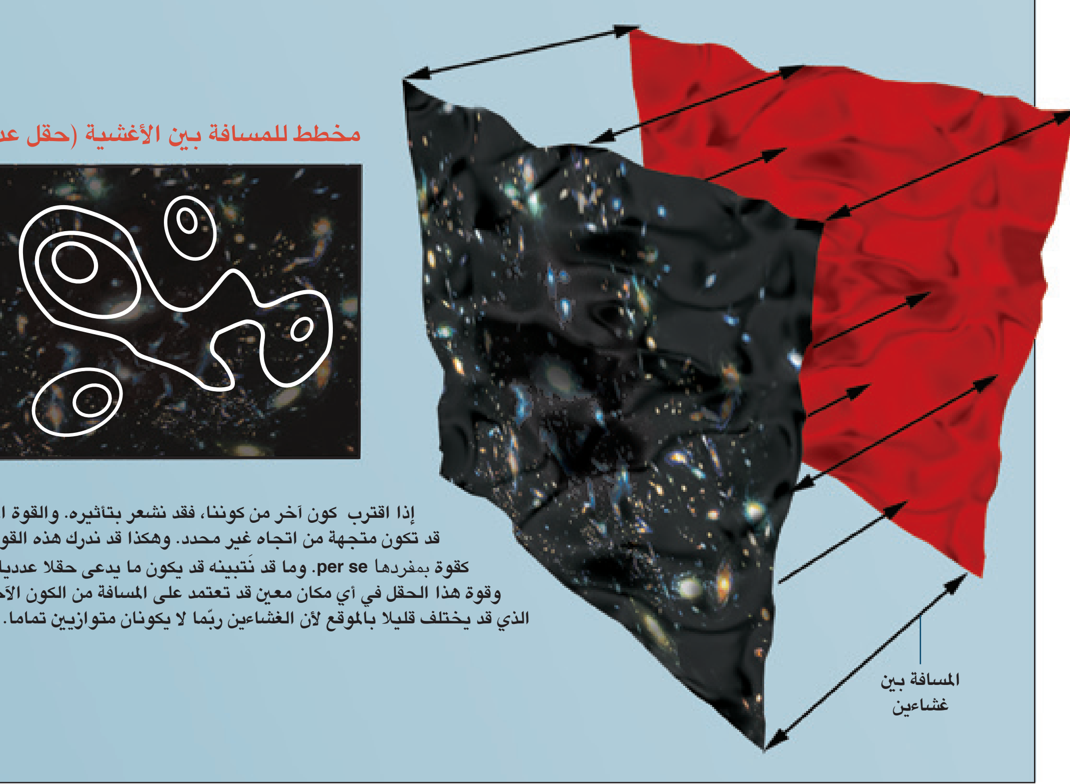
الكوسمولوجيون والمتخصصون في فيزياء الجسيمات أنفسهم يعملون معا سعيا إلى تعرف القوانين الأساسية في الفيزياء في مثل هذه الدرجات العالية للحرارة. ويحث تلاقح الأفكار هذا هؤلاء العلماء على إعادة تفكيرهم بدقة في الكون المبكر بتطبيق نظرية الأوتار.

ومفهوم الانتفاخ يبرز لتفسير عدد من الأرصاد البسيطة، لكن المحيرة. ويتضمن كثير منها **إشعاع الخلفية الكوني الميكروي الموجة** (CMBR)(٢)، الذي تبقّى من الكون المبكر الحار. وعلى سبيل المثال، يبين هذا الإشعاع أن كوننا المبكر كان منتظما تماما إلى حد ما - وهذا شيء غريب، لأنه لم يوجد لأي من العمليات المألوفة، التي تجعل المادة متجانسة (كالموائع مثلا)، ما يكفي من الوقت للعمل. وفي بواكير الثمانينات من القرن المنصرم، توصل <H .A> گوث [أستاذ في المعهد MIT] إلى أن حقبة جد سريعة للتوسع يمكن أن تكون هي المسؤولة عن هذا التجانس. فمثل هذا التوسع المتسارع قادر على **تخفيف (تمديد)** dilution أي مادة كانت موجودة من قبل والتقليل من التغيرات في كثافتها(٣)؟ [انظر: «*الكون التضخمي المتجدد ذاتيا*»، **العلوم**، العددان 9/8 (1995)، ص 24].

وبالقدر نفسه من الأهمية، يمكن القول إن هذا التوسع المتسارع لم يجعل الكون متجانسا تماما. فخلال حقبة الانتفاخ، كانت كثافة طاقة الفضاء متقلبة وذلك وفق القوانين الكمومية الإحصائية التي تحكم الطبيعة في **المسافات تحت الذرية** subatomic. وكما تفعل آلة عملاقة **للنسخ الفوتوغرافي** photocopy، فإن الانتفاخ كَبَّرَ هذه التقلبات الكمومية الصغيرة لتصبح ذات أبعاد فلكية، وقد أدى ذلك إلى تقلبات في الكثافة يمكن

(*) Going for a Ride
(**) POWERS OF TEN
(١) varied criticisms
(٢) cosmic microwave background radiation
(٣) deviations in density، انظر: "*The Inflationary Universe*," by A. H. Guth and P. J. Steinhardt; *Scientific American*, May, 1984.

كيف تؤثر الأغشية الأخرى فينا(*)



إذا اقترب كون آخر من كوننا، فقد نشعر بتأثيره. والقوة المؤثرة قد تكون متجهة من اتجاه غير محدد. وهكذا قد ندرك هذه القوة كقوة بمفردها per se. وما قد نَتبينه قد يكون ما يدعى حقلا عدديا. وقوة هذا الحقل في أي مكان معين قد تعتمد على المسافة من الكون الآخر، الذي قد يختلف قليلا بالموقع لأن الغشاءين ربّما لا يكونان متوازيين تماما.

إن الطاقة الممثلة بحقل كهذا قد تكون هي المسيرة للانتفاخ inflation، وهو توسع ضخم في حجم كوننا في بداية تاريخه الكوني cosmic history. والانتفاخ بدوره قد يكون هو الذي ضخم التأثيرات الخيطية stringy effects إلى حجم كوني. وإن انعطافا مشابها في معدل التوسع ربما يكون أيضا قد بدأ حديثا وأحدثته الطاقة المعتمة dark energy.

لتعليل الانتفاخ، لا بد لطاقة الحقل العددي من أن تبقى ثابتة تقريبا ومن ثم أن تهبط فجأة، كمثل عربة على سكة أفعوانية تتلوى ارتفاعا وانخفاضا (كالتي تُشاهد في مدينة ملاهي).

التنبؤ بها في وقت لاحق من تاريخ الكون.

إن ما يُرى في الإشعاع CMBR يعيد من جديد تنبؤات نظرية الانتفاخ بدقة عالية. وقد جعل هذا النجاح الرصدي من الانتفاخ تفسيرا رئيسيا للطريقة التي كانت تحكم سلوك الكون في الأوقات المبكرة جدا من عمر الكون. هذا وإن **السواتل**[1] التي ستُطلق لاحقا، مثل **مرصد پلانك** Planck observatory الذي خططت وكالة الفضاء الأوروبية لإطلاقه، ستبحث عن دعم لنظرية الانتفاخ.

ولكن، هل بمقدور القوانين الفيزيائية أن تولد حقا هذا الانتفاخ؟ هنا تصبح الحكاية أكثر ضبابية، فمن الصعوبة بمكان جَعْل كون يعج بأشكال منتظمة من المادة يسارع توسعه. فمثل هذا التسريع يحتاج إلى نمط من الطاقة يتسم بمجموعة غير عادية جدا من **الخاصيات** properties. فكثافة طاقته يجب أن تكون إيجابية، وأن تظل ثابتة تقريبا حتى وإن كان الكون يتوسع بطريقة درامية؛ ولكن كثافة الطاقة يجب إذ ذاك أن تنخفض

المؤلفان



Cliff Burgess

Fernando Quevedo

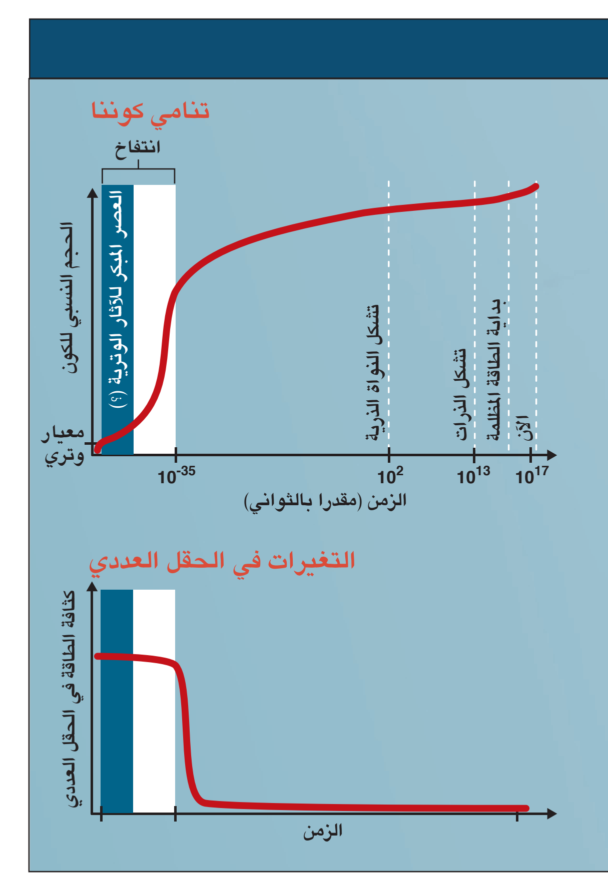
تقابلا في بواكير الثمانينات من القرن الماضي حين كانا طالبي دراسات عليا بإشراف الفيزيائي الذائع الصيت <S. واينبرگ>. ومنذ ذلك الوقت، استمرا بالعمل معا، وتدور معظم أبحاثهما حول السؤال التالي: كيف يمكن ربط نظرية الأوتار بالفيزياء الواقعية القابلة للرصد. <بيرگيس> باحث في Perimeter Institute في واترلو بأنتاريو، وأستاذ بجامعة ماك ماستر في هاملتون (كندا)، وقد فاز بزمالة Killam Fellowship عام 2005. أما <كويڤيدو>، فهو أستاذ في جامعة كامبردج، وقد فاز بزمالة Guggenheim Fellowship، إضافة إلى جوائز أخرى، وله نشاط يذكر في تطوير العلوم في بلده الأصلي گواتيمالا.

فجأة للسماح للانتفاخ بأن يتوقف.

وللوهلة الأولى، يبدو من المستحيل على كثافة طاقة أي شيء أن تبقى ثابتة، لأن توسع الفضاء يجب أن يخفضها. بيد أن منبعا خاصا للطاقة، يسمى **حقلا عدديا** scalar field، قادر على تفادي هذا التخفيض. ويمكن النظر إلى الحقل العددي كمادة بدائية جدا تملأ الفضاء وكأنها إلى حد ما غاز، لكنها لا تسلك سلوك أي غاز سبق لك رؤيته، إنها شبيهة بالحقلين الكهرمغنطيسي والتثاقلي المعروفين على وجه أفضل، لكنها أبسط منهما. ويعني مصطلح الحقل العددي ببساطة، أنه يكفي لتعيينه عدد واحد، هو **مقدار** magnitude الحقل، الذي يمكن أن يتغير من موقع إلى آخر ضمن الفضاء. وفي المقابل، فإن الحقل المغنطيسي هو **حقل متجهي** vector field له مقدار واتجاه أيضا (نحو القطب المغنطيسي الشمالي) في كل

(*) HOW OTHER BRANES AFFECT US

(1) satellites أو الأقمار الصنعية.



نقطة من الفضاء. ويقدم تقرير عن أحوال الطقس مثالين على كلا هذين الحقلين: فدرجة الحرارة والضغط هما عددان، أما سرعة الريح، فهي متجه.

إن الحقل العددي الذي سيّر الانتفاخ، والذي سُمي حقل الانتفاخ، هو بوضوح ما جعل التوسع يتسارع مدة طويلة قبل توقفه على نحو مفاجئ. كان الديناميك يشبه اللحظات الأولى من رحلة في عربة تجري فوق قضبان **أفعوانية**(١) roller-coaster. ففي البداية ترتفع العربة ببطء على طول تلة عادية. («ببطء» مصطلح نسبي؛ فالعملية كانت لاتزال سريعة جدا بالمقاييس البشرية.) بعد ذلك، يحدث هبوط شديد مثير، تتحول الطاقة الكامنة خلاله إلى طاقة حركية تتحول، في نهاية المطاف، إلى حرارة. وليس من السهل توليد مثل هذا السلوك نظريا. وقد قدم الفيزيائيون مجموعة من الاقتراحات خلال السنوات التسع والعشرين المنصرمة، لكن لم يكن بوسع أي منها أن يفرض نفسه.

وتري (خيطي)(*)

نظرية الأوتار String Theory
نظرية موحدة مرشحة لجميع القوى الفيزيائية والجسيمات.

تضخم Inflation
حقبة من التوسع الكوني المتسارع حدثت في وقت مبكر من تاريخ الكون.

الكون القابل للرصد Observable Universe
مجموع كل ما يمكننا رؤيته يسمى أيضا «كوننا».

كون آخر Other Universe
منطقة غير مرصودة من الزمكان، ربما تتميز بخاصيات وقوانين فيزيائية فريدة.

كالابي-ياو Calabi-Yau
شكل سداسي الأبعاد الخفية.

غشاء Brane
bran اختصار لكلمة membrane
يمكن أن يكون ملاءة ثنائية البعد (كالغشاء العادي)، أو قد يكون له عدد أكبر أو أقل من الأبعاد.

حقل Field
صيغة للطاقة تملأ الفضاء مثل الضباب.

حقل عددي Scalar Field
حقل يحدد بعدد واحد في كل موقع. وكأمثلة عليه نورد: درجة الحرارة، حقل الانتفاخ.

معاملات Moduli
حقول عددية تصف حجم وهيئة أبعاد الفضاء الخفية.

يُفْني Annihilate
تحويل كلّي إلى إشعاع، كما يحدث عند تصادم مادة ومادة مضادة أو أغشية وأغشية مضادة.

وما أعاق البحث جهلنا بما يمكن أن يكون مستمرا بطاقات عالية بقدر لا يصدق، من المحتمل أن تكون ذات صلة بالموضوع.

مشدوهون بالأغشية(**)

حين كان الانتفاخ يكتسب صدقية خلال الثمانينات من القرن العشرين، كان هناك أسلوب مستقل للتفكير آخذ في التقدم باتجاه تخفيض جهلنا بهذا الموضوع. وتقترح نظرية الأوتار أن الجسيمات **تحت الذرية**(٢) هي، في الحقيقة، أجسام صغيرة أحادية البعد تشبه نُطقا مطاطية بالغة الصغر. ويكوِّن بعض هذه الأوتار **عُرى** loops (تسمى أوتارا مغلقة)، لكن لبعضها شكل شريط دقيق قصير له طرفان (وهذه هي الأوتار المفتوحة). وتعزو النظرية جميع الجسيمات الأولية، التي اكتشفت حتى الآن، إلى طرز مختلفة من اهتزاز هذه الأنماط من الأوتار. وخلافا لنظريات أخرى في الجسيمات الأولية، فإن أفضل جزء من نظرية الأوتار هو أنها تتضمن **الثقالة** gravity بصفتها قسما عضويا منها وذلك خلافا لنظريات أخرى في الجسيمات الأولية. وبعبارة أخرى، فإن الثقالة تبرز من النظرية بطريقة طبيعية، دون أن يفترض وجودها في مستهل صوغ النظرية.

إذا كانت النظرية صحيحة، فالفضاء ليس مطابقا تماما للشكل الذي نراه فيه. وبوجه خاص، تتنبأ النظرية بأن للفضاء تسعة أبعاد **(للزمكان**(٣) spacetime عشرة أبعاد عند إدخال الزمن)، وهذا يمثل ستة أبعاد تُضاف إلى الأبعاد المألوفة الثلاثة: الطول والعرض والارتفاع؛ وهذه الأبعاد الستة الإضافية غير مرئية لنا، وعلى سبيل المثال، قد تكون صغيرة جدا، وقد

(*) STRINGLISH
(**) Brane Bogglers
(١) هي سكة حديد تتلوى (في مدينة للملاهي) ارتفاعا وانخفاضا، وتجري فوق قضبانها عربات صغيرة يركبها الناس للاستمتاع بالرحلة.
(٢) subatomic
(٣) زمكان: نحت من: زمان – مكان.

[سيناريوهان اثنان]

انتفاخ من الأغشية(*)

اصطدامات بين الأغشية والأغشية المضادة

الغشاء والغشاء المضاد هما مثل المادة والمادة المضادة: فلهما شحنات متعاكسة ويجذب كل منهما الآخر.

إن جذبهما يزيد من حجم بعض أبعادهما.

عندما تتلامس هذه الأغشية، فإنها تفنى، مطلقة من الطاقة ما يكفي لتوليد مادة في الأغشية القريبة.

غشاء مضاد

غشاء

غشاؤنا

استجابة للأغشية المتاثرة، فإن الأغشية القريبة، مثل كوننا، تزداد حجما، وتتجنب، في الوقت نفسه، نتيجة هذه العملية المعقدة والغامضة.

نغفل عنها لأنها ببساطة لا تنسجم مع حواسنا. فقد يوجد في موقف للسيارات صدع بمقياس الشعرة، وهذا يضيف بعدا ثالثا (العمق) لذلك الموقف؛ ولكن إذا كان الصدع بالغ الصغر، فلن تراه أبدا. وحتى المتخصصون في نظرية الأوتار يجدون صعوبة في رؤية تسعة أبعاد، بيد أنه إذا عَلَّمنا تاريخُ الفيزياء شيئا، فهو أن الطبيعة الحقيقية للعالم قد توجد خارج قدرتنا على رؤيتها مباشرة.

وعلى الرغم من اسم النظرية، فإنها لا تتناول مجرد الأوتار، بكل ما لهذه الكلمة من معنى، إذ إنها تتضمن أيضا شيئا من نوع آخر يسمى **غشاء ديريخليه** Dirichlet brane، أو، اختصارا، غشاء D. والأغشية D هي سطوح كبيرة وضخمة تعوم ضمن الفضاء. إنها تعمل عمل الصفائح اللزجة المصمغة لقتل الذباب: فأطراف الأوتار المفتوحة تتحرك عليها، لكن لا يمكن نزعها عنها، وربما لم تكن الجسيمات تحت الذرية - كالإلكترونات والپروتونات - سوى أوتار مفتوحة، وإذا كان الأمر كذلك، فإنها تلتصق بغشاء. ولا يوجد سوى بضعة جسيمات افتراضية فقط، مثل **الگراڤيتون** graviton (الذي ينقل قوة الثقالة)، يجب أن تكون هذه الجسيمات أوتارا مغلقة؛ ومن ثم فإنها قادرة على الحركة بحرية تامة عبر الأبعاد الإضافية. ويقدم هذا التميز سببا ثانيا لعدم رؤية الأبعاد الإضافية: فقد تكون آلاتنا مكونة من جسيمات محجوزة على غشاء. وإذا كان الأمر كذلك، فقد تكون الآلات المستقبلية قادرة على استعمال گراڤيتونات للامتداد إلى أبعاد إضافية.

ويمكن أن يكون للأغشية D أي عدد من الأبعاد، وصولا إلى تسعة. والغشاء D الصفري البعد (الغشاء D0) نمط خاص من الجسيمات، والغشاء D1 نمط خاص من الأوتار (وهو مختلف عن أي وتر أساسي)، والغشاء D2 هو غشاء أو جدار، والغشاء D3 هو حجم ذو طول وعرض وعمق، وهلم جرا. ومن الممكن احتجاز كوننا المرصود كله على مثل هذا الغشاء، الذي يسمى **عالما غشائيا** brane world. وربما تكون عوالم غشائية

ما القادم؟(**)

- اختبارات التنبؤ بالموجات الثاقلية التي سيجريها **ساتل پلانك** Planck satellite والكواشف المقترحة للموجات الثاقلية
- عمليات بحث **مقرابية** telescopic عن الأوتار الكونية
- أبحاث نظرية لفهم اللحظة الأولية للانفجار الأعظم
- جهود متواصلة لتحديد ما إذا كانت نظرية الأوتار قادرة على تفسير الانتفاخ
- دراسة إمكانية الاتصال بأكوان أخرى

(*) INFLATION FROM BRANES
(**) WHAT'S NEXT



إعادة تشكيل الأبعاد الإضافية

تبتدئ الأبعاد الإضافية بشكل مختلف عن شكلها الحالي. والطاقة الكامنة التي تدفعها لتستقر في شكلها النهائي، يمكن أيضا أن تدفع انتفاخ الأبعاد الثلاثة المرصودة.

أخرى طافية هناك، كل منها كون لتلك العوالم المحتجزة على متنه. ولما كانت الأغشية قادرة على الحركة في الأبعاد الإضافية، فبإمكانها أن تتصرف مثل الجسيمات، أي إن بوسعها أن تتحرك وتتصادم وتفنى، وحتى أن تكون منظومات من الأغشية يدور بعضها حول بعض، مثل **كواكب سيّارات** planets المنظومة الشمسية.

ومع أن هذه المفاهيم استفزازية، فإن الاختبار البغيض لنظرية ما يحدث عندما يُطلب اختبارها. وهنا خيبت نظرية الأوتار الآمال، لأنه كان من المستحيل اختبارها تجريبيا، على الرغم من الأبحاث المستمرة طوال أكثر من عقدين من الزمن. وقد تبين أن من الصعب العثور على برهان قاطع – أي على تنبؤ بحيث إنه عندما تختبر صحته، فإنه سيخبرنا على نحو حاسم بما إذا كان العالم مكونا من أوتار أم لا. فحتى **المصادم هادرون الضخم** (LHC)[1]، وهو المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات الواقع قرب جنيف – ربما لا يمتلك ما يكفي من القوة ليساعدنا على اختبار صحة النظرية.

رؤية الأبعاد غير المرئية(*)

هذه الرؤية تُعيدنا إلى الانتفاخ. فإذا كان حدوث الانتفاخ يجري بطاقات عالية، حيث تصبح الطبيعة الوترية للجسيمات واضحة كل الوضوح، فقد يوفر نفس الاختبارات التجريبية التي كانت نظرية الأوتار تبحث عنها. وفي السنوات القليلة السابقة، شرع الفيزيائيون في دراسة ما إذا كانت نظرية الأوتار قادرة على تفسير الانتفاخ. ولسوء الحظ، فإن عرض هذا الهدف أسهل من إنجازه.

وعلى نحو أوضح نقول إن الفيزيائيين يدرسون قدرة نظرية الأوتار على التنبؤ بحقل عددي ذي خاصيتين. أولاهما أن طاقته الكامنة يجب أن تكون كبيرة وموجبة وثابتة إلى حد ما، وذلك كي تولد الانتفاخ بقوة. ثانيا، يجب على هذه الطاقة الكامنة أن تكون قادرة على التحول فجأة إلى طاقة حركية – وهي التي تُحدث الانحدار الشديد لسكة الحديد الأفعوانية في نهاية الانتفاخ.

والخبر الجيد هو أن نظرية الأوتار تتنبأ بعدم حدوث نقص في الحقول العددية. فمثل هذه الحقول مثل جوائز ترضية لمخلوقات من أمثالنا الماكثين في ثلاثة أبعاد: فمع أننا لا نستطيع رؤية الأبعاد الإضافية، فإننا نتصورها بطريقة غير مباشرة بوصفها حقولا عددية. وهذا شبيه بالقيام بجولة في طائرة أُسدلت ستائر على جميع نوافذها. صحيح إنك عندئذ لا تستطيع رؤية البعد الثالث (الارتفاع)، لكن يمكنك الإحساس بآثاره عندما تؤلك أذناك. فالتغير في الضغط (وهو حقل عددي) طريقة غير مباشرة لتصور ذلك البعد.

يمثل ضغط الهواء وزن عمود الجو الكائن فوق رأسك. ولكن ما الذي تمثله الحقول العددية في نظرية الأوتار؟ يقول البعض إنها تمثل حجم وهيئة الفضاء

(*) Seeing the Unseen Dimensions
(**) WHY IS OUR UNIVERSE 3-D?
(1) Large Hadron Collider

ما السبب في أن كوننا ثلاثي الأبعاد (3-D)؟(**)

حين يتلاقى غشاء وغشاء مضاد، فإنهما لا يُفنيان مباشرة للتحول إلى طاقة. وبدلا من ذلك فهما يتحولان أولا إلى شظايا صغيرة. وهذه الشظايا هي أغشية وأغشية مضادة صغيرة، أبعادها أقل باثنين من عدد الأبعاد الأصلية. فمثلا، إذا كان للغشاء والغشاء المضاد الأوليين سبعة أبعاد مكانية (غشاء وغشاء مضاد من النمط D7)، فإنهما يتشظيان إلى أغشية وأغشية مضادة D5. وتتحول هذه الشظايا بدورها إلى أغشية وأغشية مضادة من النمط D3، ثم إلى النمط D1. وعند ذلك فقط تفنى تماما.

وتميل سلسلة فناءات الأغشية والأغشية المضادة إلى استبعاد الأغشية الكبيرة، التي تجد بسهولة أغشيتها المضادة، ومن ثم تفنى. أما الأغشية الصغيرة، كتلك التي هي من النمطين D3 و D1، فتجد صعوبة أعظم في مصادفة أغشية مضادة في رحابة الفضاء ذي الأبعاد التسعة. وقد عمّمت A. راندول <من جامعة هارفرد>، و A. كارتس <من جامعة واشنطن> نتائجنا لتضم أبعادا تسعة آخذة في التوسع. وقد تساعد هذه العملية على تفسير ميل معظم الأغشية، كغشائنا، إلى أن يكون لها، إلى حد ما، عدد قليل من الأبعاد.

في الاتجاهات غير المرئية، وهي تعرف، بمصطلحات الرياضيات، باسم **حقول «معاملات» هندسية** geometric "moduli" fields. وتمثل حقول أخرى المسافة بين العوالم الغشائية. وعلى سبيل المثال، إذا اقترب غشاؤنا D3 من غشاء آخر D3، فقد تتغير المسافة بينهما قليلا مع تغير الموقع الذي يجري فيه القياس بسبب التموجات في كل غشاء. فقد يقيس الفيزيائيون في تورونتو حقلا عدديا لـD1، ويقيس الفيزيائيون في كامبردج قيمة لـD2، وفي تلك الحالة قد يستنتجون أن الغشاء المجاور يبعد عن كامبردج بقدر ضعف بُعْده عن تورونتو.

ولدفع غشاءين معا أو حرف بُعْد إضافي، فإن الفضاء يأخذ طاقة يمكن وصفها بحقل عددي. ويمكن لمثل هذه الطاقة جعل الأغشية تنتفخ، كما اقتُرح لأول مرة في عام 1998 من قبل <G. دْفَالي> [من جامعة نيويورك] و<H. S. H. تاي> [من جامعة كورنل]. والنبأ السيئ هو أن الحسابات الأولى للحقول العددية المختلفة لم تكن مشجعة، إذ بينت أن كثافة طاقاتها منخفضة جدا – فهي أخفض من أن تتمكن من إحداث انتفاخ. وكان مظهر الطاقة يشبه قطارا على أرض مسطحة، أكثر من شبهه بقطار يرتفع ببطء على سكة حديد أفعوانية.

تقديم أغشية مضادة(*)

ورد موضوع الأغشية المضادة حين بدأ كلانا مع <M. ماجومادار> [الذي كان آنذاك في جامعة كامبردج] و <G. راجش>، و<J.-R. زانك>، والراحل <D. نوتل>، [الذين كانوا جميعا في معهد الدراسات المتقدمة في پرنستون] بالتفكير في هذا الموضوع عام 2001. وقد ابتكر <دڤالي> و <S. سولگانيك> [من جامعة نيويورك]، و<Q. شافي> [من جامعة ديلاوير] طريقة مماثلة للتفكير في الأغشية المضادة في الوقت نفسه.

وكان جديدنا هو دراسة الأغشية والأغشية المضادة. والأغشية المضادة بالنسبة إلى الأغشية هي مثل المادة المضادة بالنسبة إلى المادة. فهي يجذب بعضها بعضا كما تجذب الإلكترونات جسيماتها المضادة (البوزترونات). فإذا اقترب غشاء من غشاء مضاد، فكل منهما يجذب الآخر. ويمكن للطاقة داخل الأغشية أن توفر الطاقة الموجبة اللازمة لبدء الانتفاخ؛ وتجاذبهما المتبادل قد يهيئ السبب ليتوقف الغشاءان ويتصادمان ليفني كل منهما الآخر بانفجار هائل. ولحسن الحظ، لا يتعين على كوننا الفناء للإفادة من هذه العملية الانتفاخية. فحين تتجاذب الأغشية وتفنى، فإن الآثار تصيب أغشية قريبة.

وحين حسبنا القوة الجاذبة في هذا النموذج، كانت أقوى من أن تفسر الانتفاخ، ولكن النموذج كان برهانا على المبدأ، إذ بيّن كيف يمكن لعملية مستقرة أن تحدث لها نهاية مفاجئة قد تملأ الكون بجسيمات. وكذلك، أوحت فرضيتنا المتعلقة بالأغشية المضادة بتفكير جديد حول السؤال المطروح منذ مدة طويلة عن السبب الذي جعل كوننا ثلاثي الأبعاد [*انظر المؤطر في الصفحة 17*].

لقد كان المستوى التالي للتفكير يتطلب طرح سؤال عما يحدث عندما يصبح الفضاء نفسه – وليس الأغشية الموجودة ضمنه فقط – ديناميا. ففي جهودنا الأولية، افترضنا أن حجم وشكل الفضاء ذي الأبعاد الإضافية ثابتان عندما تتحرك الأغشية. كان ذلك افتراضا صعبا، لأن الفضاء ينحني استجابة للمادة، لكنه افتراض يمكن فهمه، لأنه في عام 2001، لم يكن أحد يعرف كيفية حساب انحناء الأبعاد الإضافية بوضوح ضمن نظرية الأوتار.

التواءات الفضاء(**)

خلال سنتين تغير الوضع تغيرا مثيرا. ففي عام 2003 ابتكر إطار نظري جديد سُمِّيَ KKLT – يتكون هذا الاسم من الحروف الأولى من أسماء المبتكرين – من قِبل <S. كاتشرو> و<R. كالّوش> و<A. لِيند> [من جامعة ستانفورد] مع <S. تريڤيدي> [من معهد تاتا للأبحاث الأساسية في بومباي]. ويشرح إطارهم الظروف التي تجعل هندسة الأبعاد الإضافية شاقة وقاسية جدا، ومن ثم فهذه الأبعاد لا تنثني كثيرا عندما تتحرك الأشياء ضمنها. وهذا الإطار يتنبأ بعدد ضخم من تشكيلات الأبعاد الإضافية، كل منها موافق لكون ممكن مختلف. وتعرف مجموعة هذه الإمكانات باسم مجال نظرية الأوتار. ومن الممكن تحقيق كل من هذه الإمكانات في منطقتها الخاصة بها من **الكون المتعدد**[1] multiverse.

وفي إطار ما حدد من قبل الباحثين KKLT، يمكن للانتفاخ أن يحدث بطريقتين على الأقل. أولاهما أنه قد يكون ناجما عن استجابة الأبعاد الإضافية التثاقلية لحركة الأغشية والأغشية المضادة. ويمكن أن تكون هندسة الأبعاد الإضافية غريبة الشكل جدا، وتشبه الأخطوط واستطالات

(*) Introducing Antibranes

(**) Space Warps

(1) انظر: *"The String Theory Landscape,"* by Raphael Bousso - Joseph Polchinski; *Scientific American*, September. 2004

متعددة أو **بلاعيم** throats فإذا تحرك غشاء على طول أحد هــذه البلاعيم، فإن حركته عبر الأبعاد الملتويــة تضعف التجاذب بين الأغشية والأغشــية المضادة. ويسمح هذا الإضعاف بحــدوث عملية التدحرج البطيء الذي يسبب الانتفاخ، وقد يحل هذا المسألة الرئيسية المتعلقة باقتراحنا الأصلي.

ثانيا، قد يكون مســبب الانتفاخ تغيرات صرفة في هندسة الأبعاد الإضافية، من دون حاجة على الإطلاق إلى أغشية متحركة. وفي عــام 2005 قدمنا مع زملائنا أول **سيناريو انتفاخي كثير الأوتار**(١) على طول ثاني هذه الخطوط. وتسمى هذه العملية العامة **انتفاخ المعامــلات** moduli inflation، لأن حقــول المعاملات التي تشــرح الهندســة تعمل مثل الانتفاخات. ومع استقرار الأبعاد الإضافية في تشكيلاتها الحالية، فإن الأبعاد النظامية الثلاثة تتوســع بحركة متسارعة. وجوهر ما يحدث هو أن الكون يعطي نفسه شكلا معينا. وهكذا فإن انتفاخ المعاملات يربط ذهنيا عدد الأبعاد التي نراها بعدد وشكل الأبعاد التي لا نستطيع رؤيتها.

أوتار في السماء(*)

إن **نماذج الانتفاخ الوتري**(٢)، وخلافا لكثير من ســمات أخــرى لنظرية الأوتــار، يمكن اختبارهــا رصديــا في المســتقبل القريب. ولمدة طويلة ظل الكوســمولوجيون يظنون أن الانتفاخ قــد يولد موجات تثاقلية، وتموجات في نســيج المكان والزمان. وقد تُغيِّر نظرية الأوتار هــذا التنبؤ، لأن النمــوذج الموجود للانتفاخ الوتري يتنبأ بموجات تثاقلية ضعيفة غير قابلة للرصد. وســيكون **ســاتل پلانك** Planck satellite أشــد حساســية للموجات التثاقلية البدائية من الآلات الموجودة حاليا. وإذا استطاع اكتشــاف هذه الموجات، فإنه ســيلغي جميع النماذج التي اقتُرحت حتى الآن لنظرية الأوتار.

يضــاف إلى ذلك أن بعض نماذج انتفاخ الأغشــية يتنبأ ببنى خطية ضخمة تســمى **أوتارا كونيــة** cosmic strings، تنشأ بطريقة طبيعية في **عقابيل**(٣) aftermath فناء الأغشية والأغشــية المضادة نتيجــة تصادمها. وقد يكون لهذه الأوتار عدة أنماط: أغشية D1، أو أوتار أساســية تنتفخ لتبلغ حجما هائلا، أو مركب من هذه الأغشية والأوتار. وإذا كانت هذه الأوتار موجودة، فيجب على الفلكيين أن يكونوا قادرين على اكتشافها بالطريقة التي يشوهون بها الضوء الصادر عن المجرات.

وعلى الرغم من التقدم النظري، فما زال هناك كثير من الأســئلة المفتوحة. فالحدوث الحقيقي للانتفاخ مســألة لم تحل بعد. فإذا ألقت الأرصاد المحســنة ظلالا من الشــك عليهــا، فإنــه يتعين على الكوســمولوجيين التحول إلى صــور بديلة للكون المبكر جدا. لقد أوحت نظرية الأوتار بعدة بدائل، تشــير إلى أن كوننا وُجِد قبل **الانفجار الأعظم** big bang، وربمــا كان جزءا من دورة دائمة من **الخلــق والدمار**(٤) creation and destruction. والصعوبــة فــي هذه الحــالات هي وصف الانتقال الذي يمثل علامة على لحظة حدوث الانفجار الأعظم على الوجه الصحيح.

وخلاصة القول إن نظريــة الأوتار توفر آليــتين عامتين لإحــداث الانتفــاخ الكوني: تصادم الأغشــية، وإعادة تشــكيل الزمكان ذي الأبعــاد الإضافيــة. وللمــرة الأولــى استطاع الفلكيون استخلاص نماذج محددة للانتفاخ الكوني، بدلا من أن يكونوا مجبرين على تقديم افتراضــات لا يمكن التحقق من صحتهــا، ثم إنها قُدِّمــت لأغراض خاصة. والتقدم مشجع جدا. إن نظرية الأوتار التي ولدت نتيجة جهود لتفسير الظواهر الطبيعية فــي مقاييس جد صغيرة قــد تكتب بأحرف كبيرة عبر السماء. ■

(*) Strings in the Sky
(١) stringy inflationary scenario
(٢) the stringy inflation models
(٣) عقابيل مفردها عقبول وتعني النتيجة أو آثار حادثة ما.
(٤) انظر: "*The Myth of the Beginning of Time*," by Gabriele Veneziano; *Scientific American*, May 2004

مراجع للاستزادة

The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins. Alan H. Guth. Addison-Wesley, 1997.

Lectures on String/Brane Cosmology. Fernando Quevedo in *Classical and Quantum Gravity,* Vol. 19, No. 22, pages 5721–5779; November 21, 2002. Available at **http://arxiv.org/abs/hep-th/0210292**

Cosmic Superstrings Revisited. Joseph Polchinski in *AIP Conference Proceedings,* Vol. 743, pages 331–340; December 10, 2004. **http://arxiv.org/abs/hep-th/0410082**

Brane Inflation: String Theory Viewed from the Cosmos. Henry S.-H. Tye. **http://arxiv.org/abs/hep-th/0610221**

On Inflation in String Theory. Renata Kallosh. **http://arxiv.org/abs/hep-th/0702059**

Inflationary Cosmology. Andrei Linde. **http://arxiv.org/abs/0705.0164**

Lectures on Cosmic Inflation and Its Potential Stringy Realizations. C. P. Burgess. **http://arxiv.org/abs/0708.2865**

***Scientific American,* November 2007**

عقل خارج الجسد[*]

يناقش أحد علماء الجهاز العصبي الرواد فكرة مفادها أن التحكم في الآلات بواسطة موجات الدماغ سوف يُمكّن المصابين بالشلل من المشي ويبشّر بمستقبل يُتيح خلط العقول ونسخ الأفكار، وذلك في مقطع حصري من كتابه الجديد.

<M. A. L. نيكوليليس>

خلال العقود الثلاثة المنصرمة كان يتعين عليّ في كل مرة تقريبا تُعاد لي فيها إحدى مخطوطاتي العلمية بعد عملية مراجعة الزملاء الإلزامية أن أستجيب للتوصيات التي لا مفر من التقيد بها والقاضية بتنقية هذه المخطوطات من جميع الأفكار المبنية على التأمل النظري، بما فيها ما يتعلق بقدرتنا على وصل الأدمغة بالآلات. إلاّ أن علماء الجهاز العصبي الذين راجعوا هذه الأوراق قبل نشرها لم تكن لديهم الرغبة، في معظم الحالات، في تقبل فكرة أن هذه الأبحاث قد تدعم أحلاما علمية أكثر جرأة في المستقبل. وقد كنت خلال مراجعاتي الذهنية المؤلمة أطلق العنان لخيالي، وأحلم باليوم الذي سأتمكن فيه من إنقاذ تلك التأملات النظرية وإيصالها للآخرين، كي يتمكنوا من أخذها بعين الاعتبار والتفكير فيها مليّا. وها قد حان الوقت الآن - بفضل التقدم الذي أُحرِز في المختبرات - لإخبار الآخرين بذلك.

وبينما كنت أواجه هذه الثقافة الأكاديمية المتشددة في تحفظها، كان عدد من كُتّاب الخيال العلمي والمخرجين السينمائيين يتنبؤون بلا تحفظ - بل كانوا في بعض الأحيان يبالغون كثيرا في تصوراتهم الخيالية. ففي عام 2009 فقط أُنتج فيلمان عملاقان في هوليود هما ***البدلاء*** *Surrogates* و***أڤاتار***[1] *Avatar* عُرضت فيهما صورة نمطية عن علماء يسيطرون على الناس ويلحقون الأذى بهم ويقتلونهم ويقهرونهم بواسطة مهاراتهم التقانية. وفي هذين الفيلمين كانت **الوصلات الدماغية-الآليّة** brain-machine interfaces تمنح الكائنات البشرية القدرة على العيش والحب والقتال عبر «**وكلائهم**» proxy. وكانت **الأڤاتارات** avatars تقوم بالنيابة عن سادتها من البشر بشتى الأعمال الشاقة، كالتجوال في الكون والعمل على إبادة جنس كامل من الغرباء في بعض الأحيان.

دعوني أقدم الآن وجهة نظر بديلة عن عصر الآلة القادم. بعد عمل مضن وطول تفكير في الآثار التي ستتركها علينا تلك **الإنسالات (الروبوتات) المُسيّرة بموجات الدماغ**[2] والتي تُسمى في معظم الأحيان «الوصلات الدماغية-الآليّة»، أرى مستقبلا يدعو إلى التفاؤل الواقعي والمليء بالترقب الحماسي، لا بالغم والمحن. وربما لأننا غير قادرين على تصور سوى النزر اليسير من أبعاد المستقبل بصورة مؤكدة،

(*) MIND OUT OF BODY

(١) لفظة سنسكريتية، تشير في الميثولوجيا الهندوسية إلى الصورة التي يتقمصها الإله عند نزوله إلى الأرض وحلوله في جسد آخر. وقد استخدمت اللفظة كذلك في علم الحاسوب للإشارة إلى التصوير الگرافيكي لشخص ما يستخدم لتمثيله على الإنترنت. أما في الخيال العلمي والفيلم المشار إليه (فيلم أڤاتار)، فالأڤاتار مخلوق مهجّن من حمض نووي بشري وغير بشري، يُتحكّم به من بعد من خلال عقل الإنسان المماثل له وراثيا.

(٢) brain-wave-controlled robots ،إنسالات: ج إنسالة، وهذه نحت من إنسان-آلي.

باختصار

لقد ثبُت بالفعل أن الإشارات الموجهة مباشرة من الدماغ قادرة على التحكم في الحواسيب وفي آلات أخرى.

الهيكل الخارجي هو طقم صنعي لكامل الجسم يوصل في نهاية الأمر مباشرة بالدماغ أيضا.

إن التحكم في الأطقم الصنعية الخارجية والحواسيب بواسطة موجات الدماغ يَعِدُ بعصر التحكم الآلي، تُنقل فيه الأفكار كما لو كانت برقيات عقلية.



المؤلف

Miguel A. L. Nicolelis

<نيكوليليس> رائد في مجال الأطراف الصنعية العصبية وأستاذ كرسي <A .W. دين> للعلوم العصبية بجامعة ديوك ومؤسس مركز ديوك للهندسة العصبية.

فإنني أشعر بنزعة قوية تدفعني إلى الترحيب بالفرص المذهلة التي يمكن أن يقدمها لجنسنا البشري تحريرُ أدمغتنا من قيودها الجسدية الأرضية. كما أنني أستغرب في واقع الأمر كيف يمكن للإنسان، أيا كان، أن يفكر بصورة مغايرة، إذا ما أتيحت له فرصة تعرف الآفاق الإنسانية الواسعة التي تبشر بها أبحاث «الوصلة الدماغية-الآليّة».

فتحرير الدماغ البشري من القيود المادية التي يفرضها عليه الجسد ربما يمكّن المعاقين من النهوض من كراسيهم المدولبة. بل هناك المزيد، إذ إن بوادر عصر الشبكات العصبية الاجتماعية أخذت تلوح في الأفق. وداعا للرسائل النصية والتغريدات عبر التويتر. ففي هذا المستقبل المتمحور حول الدماغ قد يكون بإمكانك أن تتواصل دماغيا مع زميل لك في العمل يجلس في غرفة مجاورة أو مع ملايين المريدين عبر وسيط جديد أسميه «شبكة الأدمغة». أما موقع فليكر فسوف يكون حدثا ماضيا. والصورة الذهنية للغسق الوردي أو لفريق بلدتك الذي فاز ببطولة العالم سوف يتم نقلها نقلا مباشرة بالتتابع عبر التردد الشعاعي لموجات الدماغ إلى جهاز **بنتابايت**(1) محمول.

أي طقم إنسالي عليّ أن أرتدي؟(*)

مع ذلك فإن التأملات الحالية بشأن محاكاة الدماغ بكامله في الحاسوب، أو تنزيل نسخة منه إليه، أمر لا يمكن تحقيقه إطلاقا. فالذي يجعل من <نلسون مانديلا>، مثلا، ذلك الإنسان المتميز هو جوهر شخصية الإنسان وهذا الجوهر لا يمكن نقله إلى قرص صلب أبدا. إلا أن التجارب على القوارض وانسانيس والبشر تبين لنا كيف يمكن ربط الأدمغة مباشرة بالآلات في مختبرات معدة لذلك. والنتائج التي توصلنا إليها بهذا الخصوص تجعلني أتوقع مستقبلا مثيرا.

إن الوصلات الدماغية-الآليّة التي ستُبنى في العقدين القادمين – سوف تربط كتلا كبيرة من أدمغتنا بعضها ببعض عبر وصلة ثنائية الاتجاه قد تكون قادرة على ترميم العطب الذي سببته بعض الأمراض العصبية المدمرة لدى المصابين. ومن المرجح أن تتمكن هذه الوصلات من إعادة الوظائف العصبية لملايين البشر الذين أفقدتهم هذه الأمراض مقدرة السمع أو اللمس أو الإمساك بالأشياء أو المشي أو التكلم. بل قد يصبح هؤلاء المصابون قادرين على أداء مهام لا يمكن تصورها حتى هذه اللحظة كالتحاور مع الآخرين عبر موجات الدماغ وحدها.

لقد قام اتحاد بحثي عالمي اشتركت في تأسيسه يدعى «مشروع العودة إلى المشي» بإعطاء لمحة عن هذا المستقبل.

(*) WHICH ROBO SUIT SHOULD I WEAR?

(1) بنتابايت = 1024 گيگابايت



الهيكل الخارجي هو طقم اصطناعي يمكّن المعاقين من المشي، وقد يتم التحكم فيه يوما ما بواسطة موجات الدماغ.

وهو مشروع تم التفكير فيه قبل عدة سنوات عندما أثبت فريق العمل الذي أنتمي إليه إمكانية ربط أنسجة الدماغ الحية بأدوات اصطناعية مختلفة. ويهدف هذا المشروع إلى تطوير وتصنيع أولى الوصلات الدماغية-الآليّة القادرة على إعادة الحركة لكامل جسم المرضى الذين يعانون شللا شديدا ناشئا عن آفة رضية في الحبل الشوكي أو عن خلل عصبي تنكسي.

ولتحقيق هذا الهدف نقوم حاليا بتصميم جهاز اصطناعي عصبي لتمكين المشلولين من استخدام «وصلة دماغية-آليّة» تتحكم في حركة «الهيكل الخارجي لكامل الجسد»، وهو إنسالة يتم ارتداؤها لتمكين المرضى من التحكم الإرادي في أطرافهم العلوية والسفلية، ويدعم أجسادهم ويحملها. ويقوم هذا الإنجاز الهندسي العصبي على مبادئ الفيزيولوجيا العصبية المنبثقة من تجاربنا التي أجريناها على «الوصلة الدماغية-الآليّة» لدى النسانيس الريصية والكثير من غيرها من الحيوانات.

في هذه التجارب تعلمت نسناسة ريصية اسمها «أورورا» كيف تنقل أفكارها عبر «الوصلة الدماغية-الآليّة» عن الموضع الذي يجب وضع مؤشر شاشة الحاسوب فيه، فغدت تمتلك مهارة تمارسها بصورة عادية وسلسة، كما لو كانت تقوم بأداء المهمة ذاتها بواسطة ذراع ألعاب الحاسوب «جويستيك». ومن ثم قمنا بعدئذ بإجراء التجربة نفسها بنجاح على مرضى يعانون حالات متفاقمة لداء باركنسون. بعد ذلك تعلم أحد النسانيس في مختبري بجامعة ديوك كيف ينقل إشارات دماغه لمسافة تبلغ آلاف الأميال عبر الإنترنت ويتحكم بفضلها في حركة ساق إنسالة في اليابان.

بدأنا الآن نعمل في الاتجاه المعاكس وأخذنا ننقل إشارات مباشرة إلى قشرة دماغ أحد النسانيس نخبره فيها أن هناك وليمة من كريات الطعام تنتظره في صندوق معيّن وليس في صندوق آخر. وسوف نسعى في تجربة قادمة إلى تمكين نسناس من التواصل مع آخر ليخبره بمكان الطعام. أما الأجيال الجديدة من الأطراف الصنعية العصبية، فيجب أن تكون مصممة بطريقة تتيح لها التواصل مع العالم الخارجي في الاتجاهين أي منه وإليه، بحيث يكون على دماغ من يرتدي طرفا صنعيا ويحمل قدما آليّة أن يوجه هذه القدم نحو صعود درجة السلم التالية من جهة، وأن يتلقى إشعارا ارتجاعيا من جهة أخرى، يخبره أن طرفه الصنعي قد لامس فعلا سطحا صلبا قبل أن يرسل أمرا برفع قدمه الأخرى.

وباستخدام روابط الوارد والصادر مع العالم الخارجي - المتاحة حاليا - فإننا نقف على عتبة مستقبل أعضاء الجسم الآلية. وسوف يتم دمج الوصلات الدماغية مع الأطراف الإنسالية الأكثر تعقيدا التي يتم اختبارها حاليا. كما سيتم وصل الأذرع والسيقان الإنسالية مع جذع مُصنَّع بيولوجيا، ومفصلتها معا على نحو يشبه ما يحدث في لعبة الليگو. وعندئذٍ سوف يتمكن هذا الطقم الإنسالي أو الهيكل الخارجي الذي يكسو صاحب الجسم الذي لا يقوى على الوقوف من التواصل المستمر مع القشرة الدماغية بوصفها المركز الرئيسي لإصدار الأوامر في الدماغ.

لا يمكن تحقيق هذه **الرؤية** vision المتعلقة بهيكل خارجي مزود بوصلة دماغية-آلية يستخدمه المعاقون من غير تقانات أكثر تقدما. سيتطلب ذلك جيلا جديدا من الأقطاب الكهربائية الدقيقة العالية الكثافة التي يمكن غرسها بشكل آمن في الدماغ البشري لتعطينا تسجيلات موثوقة طويلة الأجل ومتزامنة للنشاط الكهربائي لعشرات الآلاف من العصبونات المتوزعة على عدة مواقع في الدماغ. ولكي تكون الوصلات الدماغية-الآلية قابلة للتطبيق في المجال الطبي ومَيْسورة التَّكْلِفَة، يجب أن تبقى هذه التسجيلات واسعة النطاق، لنشاط الدماغ الكهربائي مستقرة لعقد من الزمن على الأقل، من دون أن تكون هناك حاجة إلى تدخل جراحي لإصلاحها.

كما ســوف يتم زرع **الشــيپات العصبيــة** neurochips المصممة حســب الطلب بصورة دائمة كي نتمكن من تكييف ومعالجة النماذج الكهربائية للدماغ وتحويلها إلى إشــارات قــادرة على التحكم في الهيــكل الخارجي. وللحد من خطر العدوى أو إلحاق الأذى بقشــرة الدماغ سيكون علينا تزويد هذه الشــيپات العصبية بتقانات لاسلكية متعددة القنوات لا تحتاج إلى طاقة كهربية كبيرة تســتطيع نقل المعلومات التي تم تجميعهــا من آلاف الخلايــا الدماغية إلى وحدة معالجة محمولة بحجم الهاتف الخلوي الحديث. وســوف تكون هذه الوحدة مســؤولة عــن القيام بنمذجة حوســبية لآليات عمل الدمــاغ الداخلية ومصممــة على نحو يتيــح التوصل إلى أفضل النتائج في عملية الاســتخلاص الفوري لإشــارات الدماغ الكهربائية المسؤولة عن ابتدار الحركة.

ســوف تكون تجمعات العصبونــات الموزعة على مناطق عدة في الدمــاغ هي المكان الذي تؤخذ منــه عينات لتغذية الوصلات الدماغية-الآلية. حيث يتم اســتخلاص إشــارات رقمية من الإشــارات الكهربائية الخام الصادرة عن الجزء الضابــط للحركة في الدماغ وقيام هذه الإشــارات الرقمية بإرســال أمرها بالحركة إلى الأجــزاء المُحرِّكة في مفاصل الهيكل الإنسالي الخارجي. وسوف تتآثر الإشارات العصبية مع الهيكل الإنســالي، فتتم محاكاة وظائف الحبل الشوكي البشــري. بفضل تلك الأوامر ويتمكــن المريض من التحرك بخطــى متتالية والتحكم بســرعة هذه الخطــى، فيبطئها أو يســرّعها وقتما يشاء ويكون قادرا على الانحناء أو صعود درجات الســلم. ويمضي الدماغ والآلــة – بصورة عامة – في متابعة حوارهما الانســيابي عبر الإرسال والاستقبال. وسوف تستحدث هذه التقنيات تفاعلا تبادليا متواصلا بين إشارات الدماغ و**المنعكسات الإنسالية** robotic reflexes.

إضافة إلى ما ســبق، فإنني أستطيع أن أتصور **حاسّات** sensors للضغط والشــد يجري توزيعها علــى امتداد الهيكل الخارجي، وتكون قادرة على توليد تيار متواصل من إشــارات التغذيــة الارتجاعيــة الخاصة باللمــس الاصطناعي والحس العميق (الإحســاس بوضعية الطقم الصنعي الإنسالي) بغية تحديث المعلومات في دماغ المريض. كذلك قد تنشّط الإشارات البصرية القنوات الأيونية الحساســة للضوء الموظفة مباشرة في القشــرة الدماغية للمريض. وبناءً على تجاربنا الســابقة التي أجريناها على النســانيس في مجال الوصلات الدماغية-الآليــة، فإنني أتوقع أن دماغ المريض ســوف يكون قادرا بعد عدة أسابيع على التآثر، والتعامل مع الهيكل الخارجي بكامله علــى أنه امتداد حقيقي لصورة جســم المريض. وحينئذٍ يغدو المريض قادرا على استخدام الهيكل الخارجي المسيّر بالوصلة الدماغية-الآلية للتحرك في محيطه بحرية واستقلالية.

آفاق التطبيقات العصبية(*)

ماذا يمكن أن يحدث خلال بضعة عقود إذا أضحينا ضليعين في مجال التقانات التي تُمكّن البشــر من اســتخدام نشاط أدمغتهم الكهربائي للتآثر مع جميع أنواع أجهزة الحاسوب؟ بدءا من الحواسيب الشخصية الصغيرة المحمولة – أو ربما المزروعة داخل أجسادنا – التي نصطحبها للتحكم من بعد في الشبكات المنتشرة حولنا لخدمة لتآثراتنا الاجتماعية الرقمية، فإن حياتنا اليومية، والحال كذلك، سوف تتخذ مظهرا مختلفا عما هي عليه اليوم، وتجعلنا نحس بها على نحو مغاير تماما لما نشعر به حاليا.

إن تآثــر الأفراد المبتدئين مع نظام تشــغيل الحاســوب الشــخصي وبرمجياته ســوف يصبح على الأرجح مغامرة كبــرى عندما نبدأ باســتخدام نشــاط أدمغتنا للإمســاك بأشــياء افتراضية وإطلاق برامــج وكتابة الملاحظات، وفي المقام الأول للتواصل بحرية مع أعضاء آخرين في شــبكتنا المُفضلة من شــبكات الأدمغة بوصفها نســخة مُحسنة عن شبكات التواصل الاجتماعية على الإنترنت. وتجدر الإشارة إلى أن اهتمام شركات إنتل وگوگل ومايكروسوفت بالوصلة الدماغية-الآلية وتأسيس أقسام خاصة تؤكد على واقعية هذه الفكرة. إن العقبة الأساسية هي تطوير طريقة لأخذ عينة من النشــاط الدماغي لا تحتاج إلى تدخل جراحي وهذا هو ما نحن بحاجة إليه بالتحديد لتحويل هذه الوصلات الدماغية-الآلية إلى أمر واقع. وأنا متأكد شخصيا من أننا سوف نجد حلا لهذه المشكلة في السنوات العشرين القادمة.

حينهــا يصبح مــا كان يبدو خارج حــدود الخيال أمرا روتينيا، وذلك عندما يأخذ عدد الأشخاص المرتبطين بمختلف بيئــات التحكم من بعد في التزايد بصورة ملحوظة من خلال الآڤاتارات والأدوات الاصطناعية المُســيَّرة بالأفكار وحدها. وسعيا وراء طموحاتنا الجامحة في اكتشاف المجهول سوف يتوســع مدى الفعل البشــري ليصل إلى أعمــاق المحيطات وتخوم الســوپرنوڤا بــل حتى إلى الأثــلام الصغرى داخل خلايا أجســادنا. وفي هذا ســياق، أتنبأ بأن أدمغتنا سوف تكمل في آخر الأمر رحلتها الملحمية التي بدأتها في أجسادنا الأرضية البالية وســكنتها لملايين السنين، بحيث تغدو – من خلال استخدام وصلات ثنائية الاتجاه تدار بواسطة التفكير وحــده – قــادرة على تشــغيل **أدوات نانويــة** nanotools لا

(*) THE PROSPECT OF NEURAL APPS

يُحصى عددها ستكون بمثابة عيوننا وآذاننا وأيدينا الجديدة في العوالم الدقيقة المتعددة التي صنعتها الطبيعة.

أما على مستوى الأمور الكبرى فأعتقد أنه من المحتمل أن نتمكن من القيام بعمليات تقوم على تقنية التحكم من بعد لتشغيل مبعوثين دبلوماسيين وسفراء وإنسالات ومركبات فضائية بأشكال وأحجام مختلفة لاكتشاف الكواكب والنجوم الأخرى في زوايا الكون البعيدة نيابة عنا، حيث يكون هؤلاء الوكلاء قادرين على وضع هذه البلاد الغريبة والمشاهد الخلابة في متناول أناملنا العقلية.

إن كل خطوة تخطوها البشرية إلى الأمام في مسيرتها الاستكشافية، تعني مواصلة عملية الاستيعاب الذهني للأدوات التي ابتكرها أفراد سلالتها أثناء هذه الرحلات العقلية، وهي أدوات تمثل استطالات لذواتنا تحدد رؤيتنا للعالم وتشكل وسيلة للتأثر معه. هذه الرؤية وتلك الوسيلة تتجاوزان حدود كل ما نقدر على تخيله اليوم. إن هذه الفكرة تثير في نفسي شعورا هائلا من الابتهاج والرعب في الآن ذاته، وهو شعور يشبه العواطف الجياشة التي يمكن أن يكون قد أحس بها بحار برتغالي قبل خمسمئة عام عندما وجد نفسه - بعد رحلة طويلة محفوفة بالمخاطر - يحدّق بالشواطئ الرملية البراقة في العالم الجديد.

هل يمكن أن يقودنا التحرير التام للدماغ إلى طمس أو ربما إزالة الحدود المادية الحصينة التي تحدد ماهية الفرد البشري؟ هل يمكننا يوما ما في المستقبل البعيد أن نختبر ما يعنيه أن نكون جزءا من شبكة واعية من الأدمغة: شبكة أدمغة حقيقية تفكر بطريقة جماعية؟ وبافتراض أن شبكة الأدمغة هذه أصبحت أمرا واقعا، فهل سيتمكن الأفراد المشاركون فيها ليس فقط من التواصل فيما بينهم بطريقة تبادلية عبر التفكير وحده، بل أيضا من الإحساس بما يشعر به ويدركه نظراؤهم، باعتبار أن الطرفين ملتحمان بصورة انسيابية بهذا الخليط الواقعي للعقول؟ لعل نزرا يسيرا من البشر فقط سيختار الخوض في هذه البحار المجهولة، ولكننا لا نعرف قطعا كيف ستكون عليه استجابة الأجيال القادمة إذا ما أتيحت لها فرصة اختبار هذه التجربة التي هي «مُجفّلة للعقول».

إذا ما تقبلنا أن جميع تلك السيناريوهات المدهشة يمكن أن تتحقق بالفعل ثم سلّمنا بحصول إجماع على قبول هذا الخليط الجمعي للعقول بمثابة وسيلة أخلاقية تعتمدها أجيال المستقبل لنظم علاقاتها التبادلية وتحديد مشتركها الإنساني، فهل يمكن أن يستفيق أولئك الأحفاد يوما ما ليدركوا بلا عناء أنهم قد ابتكروا - معا وبصورة سلمية - نوعا بشريا جديدا؟ ليس صعبا علينا أن نتخيل أن ذريتنا قد تحشد مهاراتها وتقاناتها والقيم الأخلاقية اللازمة لتأسيس شبكة أدمغة وظيفية حقيقية: كوسيط يمكن لبلايين الكائنات البشرية من خلاله أن تقوم بالتراضي بإقامة علاقات تواصلية مباشرة عابرة مع إخوتهم في الإنسانية من خلال التفكير وحده.

في الوقت الحاضر، لايمكن لي ولا لغيري، وضع تصور عن الشكل الذي سيتخذه هذا الصرح الهائل من الوعي الجمعي ولا تخيل المشاعر التي سوف يثيرها هذا الوعي. وقد يقودنا هذا الأمر - من غير أن نتوقع ذلك - إلى تجربة إدراكية إنسانية استثنائية عندما نكتشف أن أيّا منا لا يحيا بمفرده، وأن أفكارنا الأكثر حميمية، وخبراتنا، وقلقنا وعواطفنا ورغباتنا - وهي الأمور البدائية التي تجعل منا بشرا - يمكن أن يشاركنا فيها بلايين من إخوتنا وأخواتنا.

لا يتطلب الأمر سوى وثبة خيال صغيرة كي ندرك أن ذريتنا - في ظل ما تم اكتسابه مؤخرا من حكمة - قد تقرر مجددا أن تعبر نقطة اللاعودة في التاريخ الملحمي لجنسنا البشري وأن تناضل لتوثيق غنى الإرث البشري وتنوعه، لصالح الأجيال القادمة، ولمن سيخلفنا في هذا الكون. مثل هذا الإرث البشري كنز لا يقدر بثمن لا يمكن تجميعه إلا من خلال - كما أعتقد - الحفاظ على كل ما لا يمكن الاستغناء عنه؛ انطلاقا من الرواية الذاتية لكل فرد ولقصة حياة كل شخص وذلك عبر تخزين ذكرياتنا تخزينا رقميا. هذا الفعل سيقوم بحماية القصة الفريدة لوجودنا الزائل، فتلك القصة التي يتم تخزينها في عقل كل واحد منّا بصورة مؤقتة يطويها النسيان ولا يمكن استرجاعها بعد انتهاء حياتنا في هفوة مسرفة من نوادر الطبيعة.

يحدوني الأمل قبل أن تنتهي حياتي المهنية بأن يساعد السعي نحو الأحلام الكبيرة على تحقيق هذه الرؤية، وهي رؤيا يرتسم مسارها على شكل طريق يمتد من التحكم الحالي للدماغ في الحواسيب إلى الهياكل الخارجية وربما الرسائل النصية العصبية في آخر الأمر. وسوف تكون حقا تذييلا ممتعا لوقتي الذي قضيته في خنادق العلم إذا ما تمكنت أخيرا من الرد على زميل مراجع كثير التشكي من أن أبذر في قشرة دماغه السمعية ذلك النوع من الردود التي ما زلت لعقود أنوي توصيلها. ■

مراجع للاستزادة

Controlling Robots with the Mind. Miguel A. L. Nicolelis and John K. Chapin in *Scientific American*, Vol. 287, No. 4, pages 24-31; October 2002.

Seeking the Neural Code. Miguel A. L. Nicolelis and Sidarta Ribeiro in *Scientific American*, Vol. 295, No. 6, pages 48-55; December 2006.

***Scientific American*, February 2011**

تتمة الصفحة 9 (التخطيط للأمان من الحوادث النادرة للطاقة النووية)

مع ذلك، يستطيع المهندسون الاستعداد فقط للحوادث التي يمكنهم التنبؤ بها. والمختصون في علوم الزلازل ما زالوا يكتشفون مخاطر زلازل جديدة. فمنذ عقود قليلة مضت كانت إمكانية أن تضرب هزة أرضية أو تسونامي شمال غرب المحيط الهادي أمرا بعيد الاحتمال. وفيما بعد، حدَّدَ العلماءُ انقراض شجر الأرز الأحمر هناك بعام 1700، مقترحين حدوث زلازل في تلك السنة. ومن ثم اكتشفوا سجلات لتسونامي في اليابان تؤكد ذلك. وعندما عادوا بالزمن إلى الوراء، حدد الجيولوجيون أن هزة أرضية قوتها 9.0 (بمقياس ريختر) قد ضربت منطقة تمتد تقريبا من شمال جزيرة ڤانكوڤر (بكندا) إلى شمال كاليفورنيا. وغيّر هذا الفهم – وإلى الأبد – أُسُسَ تصميم المباني المقامة في المنطقة. وقد سبق ذلك بناء محطتين نوويتين في المنطقة في كل من ولاية أُريگون وفي شمال كاليفورنيا. ومن حسن الحظ أن كلا من المحطتين قد تم تفكيكهما لاحقا بعد إيقافهما عن العمل.

إن الزلازل قليلة الحدوث على الشاطئ الشرقي للولايات المتحدة، لدرجة أن أبحاث الزلازل هناك بدت غير ملحة إلى حدٍّ كبير. ومع ذلك، فإن مفاعل **السن الهندي** Indian Point الواقع شمال مدينة نيويورك، يبعد مسافة 50 ميلا عن منطقة يعيش فيها نحو 6% من سكان الولايات المتحدة، بكثافة سكانية أكبر من أي منطقة مفاعل أخرى في البلاد. ولا يتفق علماء الزلازل على تحديد أي من الفوالق في المنطقة يحتمل أن يُحدث هزة أرضية، ولا على كيفية التعامل معها، وفق ما يقوله عالم الزلازل ‹E. J. إيبل› [من كلية بوسطن]. فقد دلّت إحدى الدراسات التي أجريت عام 2008 على أن عددا من الفوالق المحلية الصغيرة – التي يعتقد أنها ظلت خامدة – يمكن في الواقع أن تسهم في هزة كبيرة.

لقد بَيّنَتْ فوكوشيما الحاجة إلى **نموذج جديد** new paradigm، هذا ما قاله ‹N. مشكاتي› [أستاذ الهندسة في جامعة جنوب كاليفورنيا والخبير في تأثيرات الزلازل في المحطات النووية]. ويضيف قائلا: «إن الأساس في تصميمنا يقوم على احتمالات مستحيلة، ولكن لا يجيد المهندسون وضع تصميم يلائم حادثة نادرة لم تقع حتى الآن». ويستحيل مع مثل هذه الشكوك معرفة إن كان التصميم على أساس مضاعفة هامش الخطأ كافيا.

ومن ناحية أخرى، يقول ‹M. كوراديني› [العضو في لجنة ضمانات المفاعلات الاستشارية في الهيئة] إنه لا يوجد مبنى صنعه الإنسان يقي من الزلازل بنسبة 100 في المئة. ويضيف: «إن السؤال هو ما التصميم الذي ترغبه ولأي غرض، وهل المجتمع يفهم ذلك ويقبل بعامل الأمان المستخدم؟»

تُرى، ما هي درجة الأمان كي يكون التصميم آمنا بما يكفي؟ وعندما يكون السؤال بشأن الطاقة النووية يجب أن يكون الجواب حصيفا ويأخذ بالحسبان البدائل ونوعية المخاطر التي يمكن التعايش معها. فالفحم الحجري يُنتج نصف حاجة الولايات المتحدة من الكهرباء، وتسهم محطاته في نحو 80% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في البلاد، بحسب ما تقوله وزارة الطاقة في الولايات المتحدة. في المقابل تُنتج الطاقة النووية نحو 20% من كهرباء البلاد، بينما لا تسهم شيئا في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ووفق دراسة موّلها **فريق الاهتمام بالهواء النظيف** Clean Air Task Force عام 2000 فإن التلوث من محطتين فقط تحرقان الفحم في الشمال الشرقي من البلاد قد ارتبط بحدوث عشرات الآلاف من نوبات الربو ومئات الآلاف من الإصابات العارضة بأمراض الجزء العلوي من جهاز التنفس وسبعين حادثة وفاة سنويا. أما الغاز الطبيعي فيحترق بنظافة أعلى، إلا أن الشواهد تتعاظم على أن بعض طرق استخراجه تُسبِّبُ – بحد ذاتها – مخاطر على صحة الإنسان والبيئة.

ما زال من الممكن أن تغير الشكوك التي خلّفها حادثُ اليابان مسار الخطط المرسومة لبعض المفاعلات الجديدة. إلا أن الالتزامَ بمواجهة ارتفاع الحرارة العالمي وحاجتنا إلى الطاقة يشيران إلى تواصل جهود إحياء الطاقة النووية. وفي الشهر 2010/2 صادق وزير الطاقة الأمريكي ‹S. شو› على المفاعل AP1000، بعد أن أعلن الرئيس ‹أوباما› عن رصد 8.3 مليار دولار على شكل قروض مشروطة بضمانات. وقال ‹شو›: «سيساعد مشروع ڤوگتل Vogtle (في ولاية جورجيا) أمريكا على استعادة الريادة في التقانة النووية». وسيدعم سجل الأداء الجيد لاستعمال الطاقة النووية على حُجج المدافعين عنها. فعلى الرغم من القلق الذي يسبّبَهُ حادث ثري مايل آيلاند إلا أنه لم يتسبب في حادثة وفاة واحدة. وإن سجلات الأداء – بطبيعة الحال – لا تعكس أحداثا لم تقع قطُّ حتى الآن، ولكن ذلك لا يلغي إمكانية حدوثها مستقبلا. ■

مراجع للاستزادة

Nuclear Power in a Warming World. Lisbeth Gronlund et al. Union of Concerned Scientists, December 2007. Available at www.ucsusa.org

The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study. Massachusetts Institute of Technology, 2009. Available at http://web.mit.edu/nuclearpower

Nuclear Energy Institute: www.nei.org

U.S. Nuclear Regulatory Commission: www.nrc.gov

World Nuclear Association: www.world-nuclear.org

Scientific American, June 2011

الأعداد الأغرب في نظرية الأوتار(*)

نظام أعداد جرى تجاهله طويلا وقد ابتكر في القرن التاسع عشر، يوفر أبسط شرح لتبيان لِمَ يمكن أن يكون كوننا ذا عشرة أبعاد.

<J. C. بييز> - <J. هويرتا>

في طفولتنا درسْنا جميعا موضوع الأعداد. وبدأنا بالعدّ متبوعا بعمليات الجمع والطرح والضرب والقسمة. ولكن الرياضياتيين يعلمون أن نظام الأعداد الذي تعلمناه في المدرسة ما هو إلا واحد من بين نظم كثيرة. فهناك نظم أخرى من الأعداد المهمة لفهم الهندسة والفيزياء. ومن بين أغرب البدائل ذلك المسمى **المثْمَانيات** octonions. كانت المثْمَانيات قد أُهملت إهمالا كبيرا منذ اكتشافها عام 1843، غير أن **نظرية الأوتار**[1] string theory رجّحت إبان العقود القليلة الماضية أن المثمانيات ذات أهمية مدهشة. وحقا، إذا كانت نظرية الأوتار تمثل الكون تمثيلا صحيحا، فإن المثمانيات قد تفسّر لِمَ يمتلك الكون عدد الأبعاد التي لديه.

التخيّلي صنع الحقيقي(**)

لم تكن المثمانيات أول موضوع في الرياضيات البحتة يُستخدَم لاحقا لتحسين فهمنا للكون. كما لم تكن البديل الأول لنظام أعداد أثبِت لاحقا بأن له استخدامات عملية. وحتى ندرك السبب، ينبغي أولا أن ننظر إلى أبسط نظم الأعداد – نظام الأعداد الذي تعلمناه في المدرسة – التي يسميها الرياضياتيون **الأعداد الحقيقية** real numbers. فمجموعة جميع الأعداد الحقيقية تشكل **خطا** line، ومن ثمّ نقول إن مجموعة الأعداد الحقيقية وحيدة البعد. كما يمكننا قلب هذه الفكرة على عقبِها، فنقول: إن الخط وحيد البعد لأن تحديد نقطة عليه يتطلب عددا حقيقيا واحدا.

قبل القرن الخامس عشر كانت الأعدادُ الحقيقية الوحيدةَ السائدة. وفي إبان النهضة حاول رياضياتيون طموحون حلّ المزيد من المعادلات المعقدة الشكل، بل تنافسوا لرؤية من سيتمكن من حلّ مسائل أكثر تعقيدا. وهكذا أُدخل الجذر التربيعي لـ1- كنوع من أنواع الأسلحة السرية من قِبَل الرياضياتي والفيزيائي والمقامر والمنجّم <C. كاردانو>. وفي الوقت الذي كان يعارضه آخرون مضى <كاردانو> يستخدم بجرأة هذا العدد اللغز كجزء من حسابات طويلة تفضي الأجوبة عنها عادة إلى أعداد حقيقية. ولم يكن يدري لماذا كانت هذه الحيلة بتلك الفعالية، وكان كل ما يعلمه هو أنها تؤدي إلى أجوبة صحيحة. وقد نشر أفكاره عام 1545، وهكذا فُتح باب جدل دام طويلا: هل الجذر التربيعي لـ1- موجود فعلا، أو إنه مجرد حيلة؟ فبعد نحو 100 سنة أصدر المفكر الكبير <R. ديكارت> حكمه، حيث أطلق على هذا الجذر الاسم الازدرائي **تخيّلي** imaginary الذي نرمز إليه اليوم بـ i.

(*) THE STRANGEST NUMBERS IN STRING THEORY
(**) THE IMAGINARY MADE REAL
(1) انظر: «*الكون الذكي*»، العلوم، العددان 8/7 (2007)، ص 74: كتابان جديدان يقولان إن الوقت قد حان لإسقاط نظرية الأوتار. وانظر بهذا الصدد أيضا «*نظرية كل شيء اللامدركة*»، العددان 2/1 (2011)، ص 36.

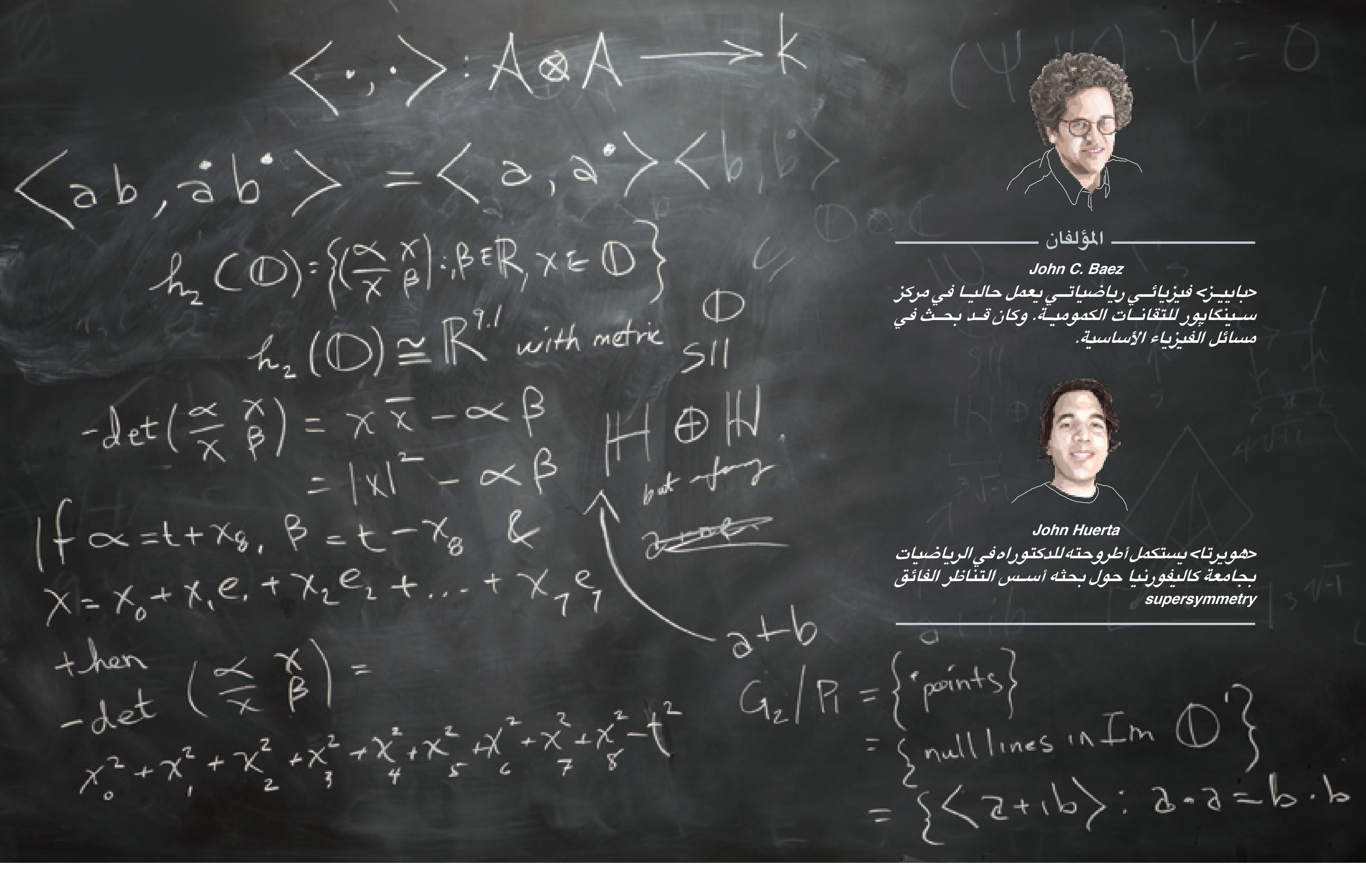
باختصار

لقد اعتاد معظمنا على استخدام الأعداد «الحقيقية»، لكن هناك أنماطا أخرى من الأعداد، ومن بينها، بل أشهرها المسماة أعداد عقدية التي تتضمن الجذر التربيعي لـ(1-).

يمكننا أيضا إنشاء نظم أعداد متعددة الأبعاد. غير أننا لا نستطيع بهذه النظم تعريف العمليات الأربع الأساسية: الجمع والطرح والضرب والقسمة إلا في بضع حالات خاصة.

ومن بين تلك الحالات توجد **المثمانيات** octonions، وهي نظام أعداد ثماني الأبعاد. لقد ابتكره الرياضياتيون نحو عام 1840، ووجد بضعة تطبيقات، لكنه حظي باهتمام أكثر بعد مضي نحو 150 عاما.

ويتوقع الرياضياتيون اليوم بأن المثمانيات يمكن أن تساعدنا على إدراك أبحاث متقدمة في **فيزياء الجسيمات** particle physics، في حقول مثل: **التناظر الفائق** supersymmetry و**نظرية الأوتار** string theory.



المؤلفان

John C. Baez

<بايز> فيزيائي رياضياتي يعمل حاليا في مركز سينكاپور للتقانات الكمومية. وكان قد بحث في مسائل الفيزياء الأساسية.

John Huerta

<هويرتا> يستكمل أطروحته للدكتوراه في الرياضيات بجامعة كاليفورنيا حول بحثه أسس التناظر الفائق supersymmetry

ومع ذلك، سار الرياضياتيون على خطى <كاردانو> وانطلقوا في العمل **بالأعداد العُقدية** complex numbers – وهي أعداد من الشكل $a + bi$، حيث a و b عددان حقيقيان عاديان. وفي حوالي 1806 قام <R.-J. أرگند> بتعميم الفكرة القائلة إن الأعداد العقدية تصف النقاط على المستوي. كيف يصف العدد $a + bi$ نقطة من المستوي؟ هذا أمر بسيط: فالعدد a يدلنا على مدى بُعد النقطة من جهة اليسار أو اليمين، في حين يدلنا b على بعدها نحو الأعلى أو الأسفل.

وبهذه الطريقة، يمكن أن نرى أي عدد عقدي كنقطة في المستوي، لكن <أرگند> تقدم خطوة إلى الأمام. لقد أوضح كيف ينبغي النظر إلى العمليات التي نقوم بها عند استخدام الأعداد العقدية – عمليات: الجمع، الطرح، الضرب والقسمة – كعمليات هندسية في المستوي [*انظر الإطار السفلي في الصفحة 29*].

ولكي نمهّد لإدراك كيف يمكن رؤية تلك العمليات كعمليات هندسية، دعنا نفكر في الأعداد الحقيقية. إن جمع أو طرح أي عدد حقيقي يزيح الخط الحقيقي نحو اليمين أو اليسار. أما الضرب في أي عدد موجب أو القسمة عليه فهو يمدد أو يقلص الخط الحقيقي. وعلى سبيل المثال، فالضرب في 2 يمدد هذا الخط بعامل 2، في حين تقلص القسمة على 2 الخط، بتقليص المسافة بين جميع النقاط مرتين عما كانت عليه. أما الضرب في 1- فيقلب الخط.

ويطبق الإجراء نفسه في حالة الأعداد العقدية بعد مجرد تحويرات إضافية. فجمع أي عدد عقدي $a + bi$ مع نقطة في المستوي يزيح هذه النقطة يمْنَةً (أو يسْرَةً) بمقدار a، وإلى الأعلى (*أو الأسفل*) بمقدار b. أما الضرب في عدد عقدي فهو يمدد أو يقلص، وفي آن واحد يدير المستوي العقدي. وبصفة خاصة، يدير الضرب في i المستوي ربع دورة. وهكذا، إذا ضربنا 1 في i مرتين، فإننا ندير المستوي نصف دورة كاملة من نقطة الانطلاق إلى نقطة الوصول 1–. والقسمة هي العملية العكسية للضرب، فلكي نقسم يكفي التقليص بدل التمديد، أو بالعكس، ثم يُجْرَى دوران في الاتجاه المعاكس.

فتقريبا، جميع ما يمكن عَمله بالأعداد الحقيقية يمكن عمله بالأعداد العقدية. وبالفعل، فمعظم الأمور تسير بشكل أفضل – وكان <كاردانو> يعلم ذلك – لأننا نستطيع حلّ المزيد من المعادلات باستخدام الأعداد العقدية مقارنة بما تسمح به الأعداد الحقيقية. ولكن إذا

كان نظام الأعداد الثنائي الأبعاد يتيح للمستخدم قدرة حسابية إضافية، فماذا عن نظم أعداد أبعادها أكثر؟ وللأسف، فقد تبيّن أن تعميما بسيطا من هذا القبيل أمر مستحيل. فبعد عدة عقود اكتشف عالم رياضيات إيرلندي سرّ نظم الأعداد الكثيرة الأبعاد. والآن فقط، وبعد مضي قرنين من الزمن، بدأنا ندرك القوة التي يمكن أن تمتلكها تلك النظم.

خيمياء هَمِلتون(*)

في عام 1835، اكتشف الرياضياتي والفيزيائي <R .W. هملتون>، وعمره 30 سنة، كيف يمكن التعامل مع الأعداد العقدية **كأزواج** pairs أو ثنائيات أعداد حقيقية. وقد درج الرياضياتيون على كتابة الأعداد العقدية على الشكل $a + bi$ الذي عمّمه <أرگند>، لكن <هملتون> أشار إلى أننا مخيّرون في اعتبار العدد $a + bi$ مجرد طريقة خاصة يكتب بها عددان حقيقيان – مثلا (a, b).

وقد يسّر هذا الرمز كثيرا جمع وطرح الأعداد العقدية – يكفي جمع أو طرح الأعداد الحقيقية المتقابلة في الزوج. وكان <هملتون> قد أتى أيضا بقواعد إضافية تسمح بضرب وقسمة الأعداد العقدية بشكل تحافظ فيه على **المعنى الهندسي**(1) الجميل الذي اكتشفه <أرگند>.

وبعد أن ابتكر <هملتون> هذا النظام الجبري للأعداد العقدية الذي يتحلى بمعنى هندسي، حاول خلال عدة سنوات ابتكار **جبر**(2) أوسع خاص **بالثلاثيات** triplet قد يؤدي دورا مماثلا في الهندسة الثلاثية الأبعاد، وهو مجهود لطالما خيّب آماله. فقد كتب مرة إلى ابنه قائلا: «كل صباح... عند نزولي لتناول الفطور اعتاد أخوك الصغير (آنذاك)، وأنت أيضا، طرح هذا السؤال: «حسنا، يا أبتِ، هل يمكن أن تضرب الثلاثيات؟» وكنت دائما مرغما على الإجابة ورأسي يتأرجح حزنا: كلا، بل أستطيع فقط جمعها وطرحها.» مع أنه لم يكن يعلم آنذاك أن الهدف الذي رسمه لنفسه أمر مستحيل رياضياتيا.

كان <هملتون> يبحث عن نظام أعداد ثلاثي الأبعاد يمكنه فيه الجمع والطرح والضرب والقسمة. وكانت القسمة أصعب العمليات: فنظام الأعداد الذي يمكن أن نقسم فيه يدعى **جبر قسمة** division algebra. وكان ينبغي انتظار عام 1958 ليبرهن ثلاثة رياضياتيين على نتيجة مذهلة كانت متوقعة منذ عقود: لا بد أن يكون كل جبر قسمة ذا بعد واحد (وهو بالضبط الأعداد الحقيقية) أو ذا بعدين (وهو الأعداد العقدية) أو ذا أربعة أو ثمانية أبعاد. وكان على <هملتون> أن يغيّر قواعد اللعبة ليحقق مبتغاه.

إذا كانت نظرية الأوتار صحيحة فإن الثمانيات تزودنا بالسبب العميق لماذا يجب أن يكون للكون 10 أبعاد.

لقد قدّر <هملتون> بنفسه حلا في 1843/12/16. فقد كان يسير برفقة زوجته على ضفاف القناة الملكية متوجها إلى دبلن لحضور اجتماع تنظمه الأكاديمية الملكية الإيرلندية حين خطرت بباله فكرة نيّرة: ربما لا يكون ممكنا في ثلاثة أبعاد وصف الدورانات والتمديدات والتقلصات بثلاثة أعداد لا غير. فقد كان بحاجة إلى عدد رابع مولدا بذلك مجموعة رباعية الأبعاد سمّيت **مِرْباعيات** quaternions تأخذ الشكل $a + bi + cj + dk$، حيث الأعداد i, j, k هي ثلاثة جذور تربيعية مختلفة لـ 1-.

وقد كتب <هملتون> بعد ذلك: «شعرت عندئذ وفي ذلك المكان بأن الدارة العصبية للتفكير قد انغلقت، وأن الشرارات التي تنبعث منها كانت تلك المعادلات الأساسية بين i, j, k؛ تماما كما استخدمتُها منذ ذلك الحين.» وفي أداء متميّز ذي طابع تخريبي رياضياتي نَحَت هذه المعادلات على حجر عند جسر بروگهام Brougham. ومع أن هذه المعادلات قد دُفنت الآن تحت **جدرانيات** graffiti فقد نصبت هناك لوحة تخليدا للاكتشاف.

قد يبدو غريبا أن نكون بحاجة إلى نقاط في فضاء رباعي الأبعاد لوصف تغيرات تتم في فضاء ثنائي الأبعاد، لكن هذا صحيح. فثلاثة من الأعداد تأتي من وصف الدوران، والتي يمكن إدراكها بيسر إن تصورنا أننا نحاول قيادة طائرة. فحتى نوجه الطائرة نحتاج إلى مراقبة **الانطلاق** the pitch، أو الزاوية مع الخط الأفقي. كما قد نحتاج إلى تصويب الحركات المفاجئة، بالدوران يسارا أو يمينا، كما تفعل السيارة. وأخيرا، قد نحتاج إلى ضبط الدوران: زاوية جناحي الطائرة. أما العدد الرابع الذي نحن بحاجة إليه فيستخدم لوصف التمديد أو التقليص.

وقد أمضى <هملتون> بقية حياته مشدوها بالمرباعيات ووجد لها العديد من التطبيقات. أما اليوم فقد عُوّضت المرباعيات في تلك التطبيقات بأبسط أبناء عمومتها: وهي **المتجهات** vectors، التي يمكن اعتبارها مرباعيات من الشكل الخاص $ai + bj + ck$ (إن العدد الأول هو صفر بالضبط). ولا تزال

(*) HAMILTON'S ALCHEMY
(1) geometric meaning
(2) algebra

المرباعيات تحافظ على مكانتها: فهي تزودنا بطريقة فعالة لتمثيل دورانات ثلاثية الأبعاد في الحاسوب وتظهر في جميع الأماكن حيثما هناك حاجة إلى ذلك، من نظام التحكم في وضع مركبة فضائية إلى محرك رسوم لعبة ڤيديو.

تخيّليات لا حدود لها(*)

وعلى الرغم من هذه التطبيقات فقد نتساءل عما يمثّل، بالضبط، j و k إذا سبق أن عرّفنا الجذر التربيعي لـ-1 بأنه يساوي i. وهل هذه الجذور التربيعية لـ-1 موجودة حقًا؟ وهل بمقدورنا مواصلة ابتكار جذور تربيعية لـ -1 كما يطيب لنا؟

كانت هذه الأسئلة قد طُرحت من قبل المحامي <J. گريڤس> [صديق هملتون في المرحلة الجامعية الأولى] وكانت أهميتها ذات طابع فضولي في الجبر، مما جعل <هملتون> يفكر في الأعداد العقدية وفي الثلاثيات قبل غيرها. وفي اليوم التالي مباشرة لجولته التاريخية في خريف عام 1843، بعث <هملتون> رسالة إلى <گريڤس> يصف فيها إبداعه. وقد أجابه <گريڤس> بعد تسعة أيام يثني على فكرته النيّرة، ولكنه أضاف: «لازال هناك أمر في النظام يحيّرني. فليست لدي حتى الآن رؤية واضحة حول مدى حريتنا في إنشاء **التخيّليات** imaginaries، وكيفية تزويدها بخواص خارقة.» ثم يسأل «إن كنتم بخيميائكم تستطيعون صناعة ثلاثة جنيهات ذهبية فلِمَ تتوقفون عند هذا الحد؟»

وكما فعل <كاردانو> فقد ترك <گريڤس> انشغالاته الأخرى جانبا لمدة كافية حتى يجني الثمار بنفسه. وفي 1843/12/26 كتب من جديد إلى <هملتون> واصفا نظام أعداد جديد ثماني الأبعاد سمّاه

(*) IMAGINARIES WITHOUT END

(**) MATH IN MULTIPLE DIMENSIONS

ما وراء المستقيم الحقيقي

رياضيات في أبعاد متعددة(**)

في المدرسة الابتدائية تعلمنا الربط بين الأفكار المجردة للجمع والطرح وبين العمليات الإجرائية - تحريك الأعداد نحو أعلى وأسفل المستقيم العددي. وصار هذا الربط بين الجبر والهندسة ذا فعالية مذهلة. ولذلك استطاع الرياضياتيون استخدام جبر الثُمانيات لحل مسائل بلغة ثمانية الأبعاد يصعب تخيلها. وتُظهر الأشكال أدناه كيف يتم توسيع العمليات الجبرية على مستقيم الأعداد الحقيقية إلى الأعداد العقدية (الثنائية الأبعاد).

الأعداد الحقيقية

الجمع

0 + 2 = 2

-4 -2 0 +2 +4

إن الجمع على طول مستقيم الأعداد الحقيقية عملية بسيطة: يكفي إزاحة كل عدد نحو اليمين بالمقدار الذي نضيفه.

الطرح

0 – 2 = –2

الطرح يتم بالطريقة نفسها، لكن هنا نزيح الأعداد نحو اليسار.

الضرب

2 x 2 = 4

في الضرب نمدد المستقيم العددي نحو الخارج بعامل ثابت.

القسمة

2 ÷ 2 = 1

القسمة تكافئ تقليص النقاط على المستقيم العددي.

الأعداد العقدية

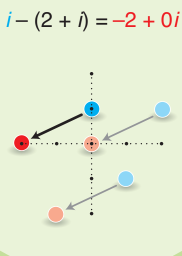
الجمع

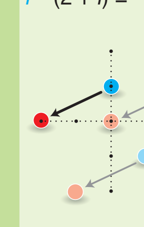
$i + (2 + i) = 2 + 2i$

للأعداد العقدية مركبتان: الجزء الحقيقي الذي يقاس على المحور الأفقي، والجزء التخيلي (رمزه i) الذي يقع على المحور الشاقولي. فجمع عددين عقديين يزيح العدد الأول نحو اليمين بمقدار الجزء الحقيقي ونحو الأعلى بمقدار الجزء التخيلي.

الطرح

$i – (2 + i) = –2 + 0i$

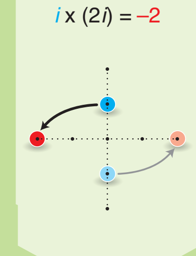




وبالمثل، عندما نطرح أعدادا عقدية نزيح نقطة الانطلاق إلى اليسار بمقدار الجزء الحقيقي وإلى الأسفل بمقدار الجزء التخيلي.

الضرب

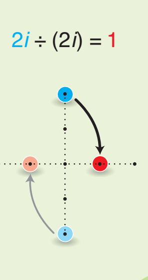
$i \times (2i) = –2$



الضرب يوجد حيث تبدأ المتعة: تماما كما هو حال الأعداد الحقيقية. فالضرب يمدد العدد العقدي. وزيادة على ذلك فالضرب في i يدير النقطة عكس عقارب الساعة بمقدار 90 درجة.

القسمة

$2i ÷ (2i) = 1$



القسمة تقلص العدد العقدي، تماما كما هو الحال في الأعداد الحقيقية. القسمة على i تدير أيضا العدد العقدي باتجاه عقارب الساعة بمقدار 90 درجة.

مشكل الدورانات(*)

في الحالة العادية يمكنكم ضرب الأعداد في أي ترتيب تشاؤون، على سبيل المثال: 2 x 3 = 3 x 2. أما في نظم الأعداد العالية الأبعاد مثل المرباعيات والثمانيات فالترتيب بالغ الأهمية. لنعتبر المرباعيات، التي تصف الدورانات في حالة ثلاثية أبعاد. عندما تأخذ شيئا، مثل الكتاب، فالترتيب الذي نُدير وفقه هذا الكتاب له أهمية كبيرة في وضعيته الأخيرة. على يمين الصف العلوي، نقلبُ الكتاب شاقوليا، ثم نديره فتظهر حافة الصفحات. وفي الصف السفلي، ندير الكتاب ثم نقلبه فيظهر العمود الخلفي للكتاب.



الثمانيات[1] octaves، ويطلق عليه حاليا **مثمانيات** octonions. ومع ذلك لم يتمكن <گريڤس> من إثارة اهتمام <هملتون> بأفكار. وقد وعد <هملتون> بالحديث عن ثمانيات <گريڤس> في الجمعية الملكية الإيرلندية، وهي إحدى طرق نشر النتائج الرياضياتية آنذاك. غير أن <هملتون> استمر بتأجيل ذلك، وفي عام 1845 أعاد الشاب الموهوب <A. كيلي> اكتشاف الثمانيات، فأغلق بذلك طريق النشر على <گريڤس>. ولهذا السبب تسمى أحيانا الثمانيات بأعداد <كيلي>.

لماذا لم يملْ <هملتون> إلى الثمانيات؟ لسبب واحد، فقد كان منكبا تماما على البحث في مبتكراته الشخصية، وهي **المرباعيات** quaternions، وكان له أيضا سبب علمي محض: تتعارض الثمانيات مع بعض القوانين الحسابية التي يحافظ عليها.

لقد كانت المرباعيات غريبة إلى حد ما. فعندما تضرب أعدادا حقيقية، فليس ثمة مشكلة في ترتيب إجراء عملية الضرب، فمثلا: 2x3 = 3x2؛ أي إن عملية الضرب **تبديلية** commutative. وينطبق ذلك على الأعداد العقدية. ولكن المرباعيات **ليست تبديلية** noncommutative. فترتيب إجراء عملية الضرب فيها مهم.

والترتيب مهم لأن المرباعيات تصف دورانات في فضاء ثلاثي الأبعاد، والترتيب في تلك الدورانات يُحدِث فرقا في حاصل العمليات. ويمكن أن تتأكد من ذلك بنفسك [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]. خذ كتابا واقلبه رأسا على عقب (بحيث تكون بعد ذلك تشاهد صفحة الغلاف الخلفي)، ثم أدره ربع دورة في اتجاه عقارب الساعة (كما لو كان يشاهَد من الأعلى). والآن قم بالعمليتين التاليتين بترتيب عكسي: أدره أولا ربع دورة، ثم اقلبه. فستلاحظ أن الوضعية النهائية مختلفة، لأن النتيجة تتعلق بالترتيب، وهذا يعني أن الدورانات ليست تبديلية.

(*) THE PROBLEM WITH ROTATIONS

(1) تعني octaves لدى المسيحيين سلسلة من الأعياد تدوم ثمانية أيام، وفي الموسيقى الصوت نفسه ثماني مرات.

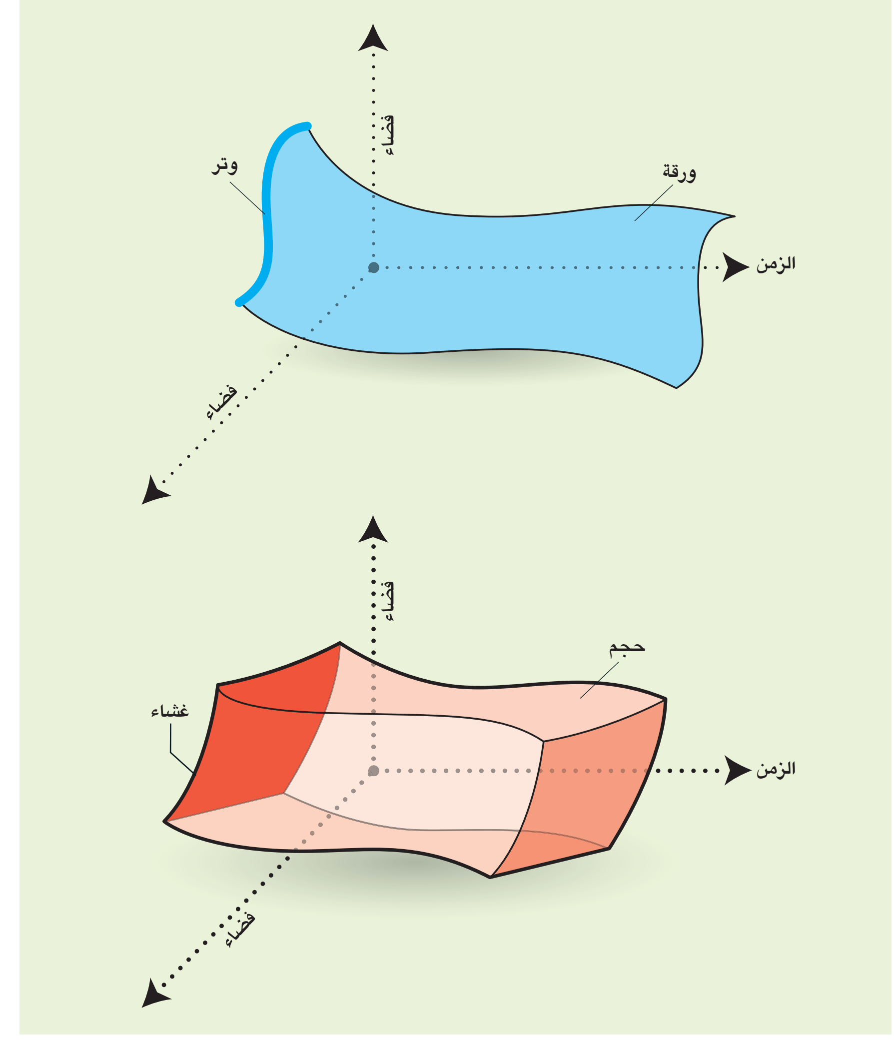
تعتبـــر المثمــانيـــات أكثــر غرابة. وليـس ذلــك فحســـب لكونهــا غيــر تبديليـــة، بل أيضـا لأنهــا لا تخضــع لقانــون آخر مألوف في الحســـاب: إنه **القانــون التجميعــي** associative law $(xy)z = x(yz)$: فمـثـــــلا، إن عـمـليــة الطرح غير تجميعية: $1 - (2 - 3)$ يـختلـف عــن $(1 - 2) - 3$. ولكننا ألفنا كون عملية الضرب تجميعية ومــازال الأمر كذلك بالنســـبة إلـــى معظـــم الرياضياتيين، مـــع أنهم اعتادوا القيـــام بعمليات غير تبديلية. فالدورانـــات مثلا تجميعية مع أنها غير تبديلية.

ويبـــدو أن الأهم من ذلــك هو كون الفائدة من الثمانيات في زمن «هملتون» لم تكن واضحة. فقـــد كانت الثمانيات مرتبطة ارتباطا وثيقا بالهندسة السُّباعية والثمانية الأبعاد، وكان بالإمكان وصف الدورانـــات فـــي ســـياق هـــذه الأبعاد باستخدام ضرب الثمانيات. ولكن ذلك لم يكن، لقرن من الزمن، ســـوى رياضة فكرية محضـــة. وكان لا بد من انتظار تقدم فيزياء الجزيئات الحديثة - وبصفة خاصـــة نظرية الأوتــــار - لإدراك مدى فائدة الثمانيات في العالم الحقيقي.

تناظر وأوتار(*)

فـــي ســـبعينات وثمانينـــات القـــرن العشـــرين، قام الفيزيائيـــون النظريون، بتطوير فكرة بالغة الجمال سمّيت **التناظر الفائق** supersymmetry. (وبعد ذلك، أدرك الباحثـــون أن نظرية الأوتـــار تحتاج إلى مفهوم التناظـــر الفائق.) فهي تنصّ على أن الكون في أكثر مســـتوياته الأساسية، يُظهر تناظرا بين المادة وقوى الطبيعة. وكل جـــزيء مادة (مثل الإلكتـــرون) له جزيء شـــريك يحمل قوة. وكل جزيء قوة (مثل الفوتون، حامل القوة الكهرمغنطيسية) له جزيء مادة توأم.

والتناظـــر الفائق ينطـــوي أيضا على



في نظرية الأوتار، ترسم الأوتار الأحادية البعد مساحات ثنائية الأبعاد. وفي النظرية M-theory M ترسم الأغشية الثنائية الأبعاد أحجاما ثلاثية الأبعاد. وإضافة هذه الأبعاد إلى الأبعاد الثمانية للمثمانيات تزودنا بقرائن تدلنا على السبب الذي يجعل هذه النظريات تتطلب 10 أو 11 بعدا.

الفكرة القائلة بأن قوانين الفيزياء ســـتظل من دون تغيير لـــو بادلنا بين جميع المادة وجميع جزيئات القوى. تخيّل أنك تشاهد الكون من خلال مرآة غريبة، التي بدلا من أن تبادل بين اليسار واليمين، تقايض كل جزيء قوة بجزيء مادة، والعكس بالعكس. فإذا كان التناظـــر الفائق صحيحا وكان يصف حقـــا كوننا، فإن هذا **الكون المرآة** mirror universe يكـــون تماما مثل كوننا.

ومع أن الفيزيائيين لـــم يتوصلوا إلى أي تأكيد تجريبي ملموس يدعم قيام التناظر الفائق، فإن النظرية تظل ذات جمال أخّاذ أدى إلـــى رياضيـــات رائعـــة، مما جعل العديد من الفيزيائيـــين يأملون ويتوقعون أن يكون التناظر الفائق حقيقة.

إلا أن هنـــاك أمرا نعلـــم أنه حقيقة، وهو الميكانيك الكمومي. وحســـب هذا الميكانيـــك فإن الجزيئـــات تمثل أيضا موجات. وفي الصيغة المعيارية الثلاثية الأبعـــاد للميكانيـــك الكمومـــي الـــذي يستخدمه الفيزيائيون يوميا، يوجد نمط واحد من الأعداد (يســـمى **سپينُرات**[1] spinors) يصف الحركة الموجية لجزيئات المـــادة. ويوجد نمط آخر مـــن الأعداد (يسمى **متجهات** vectors) يصف حركة الموجة لجزيئـــات القوة. وإذا أردنا فهم تفاعـــلات الجزيئـــات، فعلينا أن نجمع هذيـــن النمطين. ومـــع أن النظام الذي نســـتخدمه لغاية الآن قد يكون صالحا، لكنه غير أنيق البتة.

(*) SYMMETRY AND STRINGS

(1) أو: لفّافات.

التتمة في الصفحة 47

كنز في الأشجار(*)

توفر أعشاش الطيور معلومات تساعد على فهم التاريخ الطبيعي والتغير المناخي وعادات تزاوج قاطنيها.

<N. باي>



1

من الأغصان الرفيعة والحشائش إلى صوف الغنم وشعر الخيل، تنسج الطيور عالمها داخل أعشاشها. وبدورها تقدم هذه المساكن التي هجرها أصحابها معلومات تساعد على فهم حياتها وبيئتها التي كانت تعيش فيها، تماما كما تزودنا المواقع الأثرية بلمحات عن التاريخ البشري.

إن التنوع المعماري للأعشاش قد استُخدم لتوضيح الأنساب المعقدة للطيور المغردة في أمريكا الجنوبية؛ وقد كشفت بقايا فريسة وُجدت في أعشاش النسر الأصلع عن العادات الغذائية لهذه الطيور؛ كما أن قياس الكربون المشع لريش وفضلات في أعشاش صقور قديمة جدا وفّر دليلا على توقيت تراجع الغطاء الجليدي في گرينلاند. وتُظهر الأبحاث الجارية، بما في ذلك ورقة نُشرت في مجلة ***ساينس*** *Science* في وقت سابق من هذا العام، أن الطيور تستخدم تنسيق العش للتنافس على الأزواج وللتواصل فيما بينها أكثر مما كان معروفا من قبل.



4

لقد كانت عملية جمع الأعشاش في القرن التاسع عشر هواية شعبية للصبيان، ولكنها الآن محظورة في معظم أنحاء العالم. ومعظم صور الأعشاش في هذا المقال هي من كتاب بعنوان: «***خمسون عشا والطيور التي بنتها***»[١]، والذي يستعرض فيه المصور الفوتوغرافي <Sh. بيلز> عينات من متاحف مختلفة. ويقول <L. كيف> [المدير السابق للمؤسسة الغربية لعلم الحيوانات الفقارية (WFVZ) في لوس أنجلس (وهي تمتلك أكبر تشكيلة في العالم، مؤلفة من 18000 عينة)]: «إن الأعشاش تبقى إلى حد كبير موردا علميا غير مستثمر. وهي ليست حكرا على الطيور.» ■

<N. باي> كاتبة علمية تقيم في مدينة نيويورك.

(*) TREASURE IN THE TREES

(١) *Nests: Fifty Nests and the Birds That Built Them*، تأليف Sharon Beals، الناشر: Chronicle Books, 2011.



7

ملاحظات حقلية: ❶ عصفور الدوري House Finch (أريزونا، 1965)؛ خيوط، ورق، ربطات ثني. ❷ صغار عصافير الدوري Small Ground Finch (جزر گالاپاگوس، 1906)؛ عشب، أغصان رفيعة، قطن بري. ❸ ڤيردان Verdin (مكسيكو، 1961)؛ أغصان رفيعة شائكة، شبكة عنكبوت. ❹ عندليب مغرد Spotted Nightingale Thrush (مكسيكو، 1968)؛ حزازة، أشنة، أوراق «نباتات». ❺ طائر أبو زريق Gray Jay (كولورادو، 1938) أغصان رفيعة، شرانق، أشنة، لحاء، فرو، ريش. ❻ طائر الغطاس الأمريكي American Dipper (كاليفورنيا، 1951) حزازة، عشب، أوراق «نباتات»، لحاء. ❼ طائر الدخلة MacGillivray's Warbler (كاليفورنيا، 1920)؛ عشب داخل اللحاء. ❽ ويستيرن تاناگر Western Tanager (نيڤادا، 1934)؛ أغصان رفيعة، لحاء، إبر الصنوبر، شعر حيوان. ❾ طائر النمنمة House Wren (كاليفورنيا، 1974)؛ أغصان رفيعة، عشب ناعم، هياكل عظمية لكتاكيت مهجورة غير مكتملة النمو.


3
2
6
5
9
8

سرطان الحيوان المسمى «عفريت تسماني»[*]

ورَمٌ مُعْدٍ يهدد بالقضاء على «العفريت التسماني»[1]، فهل من الممكن لسرطانات «معدية» مشابهة أن تصيب البشر أيضا؟

<M. E. جونز> – <H. ماك كالام>

إن عضات الحُب على عنق **جروة**[2] «العفريت التّسماني» الصغيرة التي تجلس في حضن ‹جونز› تدل على أنها اشتركت حديثا في اتصال جنسي، كما أنها تدل على أمر مشؤوم، وهو أن هذه الأنثى قد تموت قبل أن تتمكن من تنشئة جراء أول حمل لها.

أجلسُ – أنا ‹جونز› – على الأرض ممسكة عفريتة اصطدتها من حديقة فريسينيت Freycinet الوطنية على الساحل الشرقي لتسمانيا، تلك الجوهرة البرية على شكل جزيرة تقع إلى الجنوب من البر الرئيس لأستراليا، قد شهدت في هذا المكان عام 2001 – لأول مرة – مرضا خفيا يسبب ورما ضخما متقيحا على أوجه تلك **الجرابيات**[3] ويعيقها عن تناول الطعام ويميتها في العادة خلال 6 أشهر من العدوى. واليوم، فإن أعدادها في فريسينيت قد أوشكت تقريبا على الاختفاء، وهذا انعكاس لما يجري عبر معظم نطاق هذا الحيوان. لقد اكتُشِف هذا السرطان (المعروف الآن بأنه معدٍ) أول مرة عام 1996 في أقصى الركن الشمالي الشرقي من الجزيرة، وقد أدى إلى انخفاض تعداد هذه العفاريت في تسمانيا بنسبة تصل إلى 95%، دافعا هذا النوع الذي يعيش فقط على هذه الجزيرة إلى حافة الانقراض.

ولحسن الحظ، فإن معظم السرطانات في العالم ليست «معدية»: يمكنك الجلوس إلى جوار شخص ما بالحافلة من دون أن تخشى أن تلتقط منه وَرَما. إلاّ أن بعض الأورام الخبيثة تنحدر من ڤيروسات أو بكتيريا معدية. وعلى سبيل المثال، يمكن لڤيروس (حمة) الورم الحليمي البشري أن يسبب سرطان عنق الرحم. ويقوم بذلك بجعل خلايا الأشخاص المصابين بالعدوى أكثر قابلية للتحول إلى أورام خبيثة، وليس من خلال نشر خلايا الورم مباشرة من شخص إلى آخر. أما في حالة مرض العفريت التسماني، فإن الخلايا السرطانية هي نفسها عوامل العدوى.

إن الدمار السريع لمجموعة العفريت التسماني قد حفز أبحاثا حديثة تتعمق في الكيفية التي أصبح بها سرطان العفريت التسماني معديا، وما الذي يمكن فعله لإيقافه. فمن الطبيعي لكل من سمع عن مصاعب العفاريت التسمانية أن يتساءل فيما لو يمكن لمثل هذه الأورام أن تصبح يوما ما شائعة أيضا بين البشر. ويفكر الباحثون مليا في هذا السؤال أيضا. ويبدو أن الإجابة المختصرة هي أن الاحتمالات على الأرجح لصالحنا في الوقت الحالي، غير أننا نتصرف بطرق يمكنها أن تقلب المعادلة.

(*) THE DEVIL'S CANCER
(١) Tasmanian devil، و Tasmania هي جزيرة في أستراليا.
(٢) مؤنث جَرو وهو الصغير من أولاد الحيوان.
(٣) marsupials
(٤) devil facial tumor disease

باختصار

في أقل من 20 سنة، فإن سرطانا معديا يعرف باسم **مرض الورم الوجهي**[4] قد ظهر ودفع بأحد الجرابيات المسمى بالعفريت التسماني إلى حافة الانقراض.

لقد أصبح السرطان «معديا» جزئيا بسبب أن هذه العفاريت يعض بعضها بعضا بكثرة. وعندما تفعل ذلك فإن خلايا الورم، الذي ينمو على الوجه وفي داخل الفم، تتناثر بسهولة وتستقر في جروح الحيوان المعضوض وتتأصل هناك.

وفضلا عن ذلك، فإن معظم هذه العفاريت شديد التشابه وراثيا، لذا فإن أجهزتها المناعية لا تتعرف الخلايا السرطانية المستقرة على أنها دخيلة، ومن ثم لا تدمرها.

يصف المؤلفان الشروط التي يمكن أن يصير تحتها سرطان آدمي معديا أيضا، مع أن مثل هذا الحدث ربما لا يبدو وشيكا.

مهددة بالانقراض: إن العفاريت التسمانية أعداء شرسة، غير أن السرطان ربما يكون أكثر من أن تستطيع التصدي له.

المؤلفان



Menna E. Jones

هي زميلة في المجلس الأسترالي للأبحاث المستقبلية بجامعة تسمانيا. وتشكل أبحاثها - عن العفريت التسماني ومرض الورم الوجهي وتأثير فقد هذا المفترس في قمة الهرم الغذائي على التنوع الحيوي - أساسا لإدارة برامج الحماية.



Hamish McCallum

درس إيكولوجيا الحياة البرية لسنوات عديدة، وهو عميد كلية البيئة في جامعة گريفيث بكوينزلاند في أستراليا. وقبل أن ينتقل إلى گريفيث، كان عالما مرموقا في برنامج «أنقذوا العفريت التسماني».

لعنة العفريت التسماني(*)

باستثناء **بلاء العفريت التسماني**(1)، هناك سرطان معدٍ وحيد معروف في الطبيعة: إنه ورم **النابيّات**(2) التناسلي المعدي، والذي يُعتقد أنه تطور منذ نحو 10 000 عام. وينتشر هذا المرض بين الكلاب بنقل الخلايا السرطانية أثناء الاتصال الجنسي. كما أمكن إنتاج سرطانات معدية في التجارب على الحيوانات المختبرية، وبإمكان الأورام أن تنتقل أحيانا من شخص إلى آخر عن طريق نقل الأعضاء أو من الأم إلى جنينها. ومع ذلك، فالقاعدة هي أن السرطانات تبدأ وتنتهي في عائل واحد، ذلك أنه على الرغم من قدرتها الهائلة على إحداث خراب في الجسم، فإنها تواجه عددا من العوائق التي عادة ما تمنعها من التنقل بين الأفراد. لقد نشأ السرطان المعدي في العفاريت التسمانية بسبب مجموعة من العوامل المشؤومة.

إن الأورام غير المعدية تنشأ عادة بعد حدوث تغييرات وراثية تمكنها من الانقسام من دون أي سيطرة ومن ثم تغزو الأنسجة. ومع نمو الأورام فإنها تصير مجتمعات معقدة من الخلايا الخبيثة وغير الخبيثة. وعند مرحلة معينة، قد يفوق حجم الكتل حجمَ إمداداتها من الدم والمغذيات، ومن ثَمّ (شأنها في ذلك شأن الحيوانات والنباتات البرية) تصير تحت ضغط لنشر خلايا الورم من «مسقط رأسها»، وبهذه الطريقة تمكّن للسرطان. وبعد ذلك، قد تنفصل بعض الخلايا وتنتقل عبر الدم أو اللمف وتتخذ مساكن لها في مواضع بعيدة داخل الجسم نفسه، أي إنها تصير ورما منتشرا.

وعادة فإن الأورام المنتشرة هي التي تقتل الضحية وليس الورم الأولي، محطمة الأورام أثناء ذلك. وهذا المصير يضع السرطانات الخبيثة تحت وطأة شديدة لكي تمكِّن لنفسها بطريقة مختلفة: بواسطة الانتشار إلى الآخرين.

ولكنها تخذل في كل جولة، لا سيما في انتقال الخلايا من عائل إلى آخر، فالرحلة ينبغي لها أن تكون سريعة. فالخلايا غير متكيفة للبقاء في العالم الخارجي؛ فهي تنزع إلى أن تجف وتموت خلال دقائق من مغادرتها الجسم. ولكي تنتقل، فإن عائل الخلايا السرطانية الأصلي ينبغي أن يتصرف بطرق تؤدي إلى وضعها مباشرة في اتصال مع النسيج الحي لعائل جديد.

وبمجرد وصولها إلى العائل الجديد، فإن خلايا الورم الغازية تحتاج أيضا إلى تجنب التعرف المناعي. **فالأجهزة المناعية** immune systems في الحيوانات العليا عدد من الآليات لاكتشاف الخلايا الغريبة وتدميرها. وعلى سبيل المثال، يقوم مقاتلو الجهاز المناعي بمطاردة الخلايا التي تبدو مختلفة عن خلايا الجسم نفسه وإبادتها. فالخلايا من **متعض** organism ما تكون لها شظايا بروتينية على سطحها فريدة لهذا المتعضي، فتكون أشبه بمن يرفع راية تقول: «أنا غريب»، وتقوم الدفاعات المناعية بالانقضاض عليها عندما تكتشف تلك الرايات. وتكون هذه الرايات **مكودة** encoded بمجموعة من الجينات، بما في ذلك الجينات الرئيسة **لمركب التوافق النسيجي**(3) وهي جينات

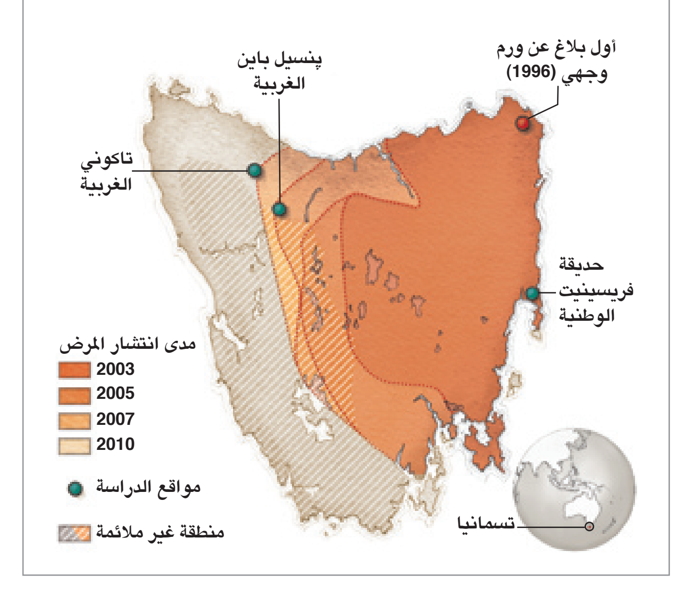
(*) The Devil's Curse
(1) The Devil's Affliction
(2) canine
(3) histocompatibility complex

مأزق العفريت التسماني

كارثة سريعة الانتشار(*)



منذ اكتشاف مرض الورم الوجهي للعفريت التسماني (*الصورة*) لأول مرة في عام 1996 في الشمال الشرقي لتسمانيا، انتقل سريعا (*الخريطة*) مقلصا بعض مجموعات العفريت التسماني (مثل تلك الموجودة في حديقة فريسينيت الوطنية) بنسبة تصل إلى 95%. فقبل عشرين عاما كانت الحيوانات مزدهرة على امتداد معظم الجزيرة، باستثناء الجنوب الغربي، حيث إن هذه البقعة غير ملائمة على وجه الخصوص (*المنطقة المخططة على الخريطة*). إن العفاريت التسمانية في أقصى الشمال الغربي تختلف وراثيا عن تلك الموجودة في مكان آخر، وهي إلى حد ما أكثر مقاومة للسرطان. لقد أقام المؤلفان وزملاؤهما مواقع للدراسة هناك، آملين بالتوصل إلى تصور جديد حول الكيفية التي قد يمكن بها زيادة أعداد تلك العفاريت.



شديدة التباين. وفي الحقيقة فإن بعض علماء الأحياء يعتقدون أن جينات مركب التوافق النسيجي الرئيسة، والتي تطورت في الحيوانات الفقارية المبكرة، صارت أساسا بهذا التباين العظيم لضمان ألا تصبح السرطانات معدية.

ومن المحزن بالنسبة إلى هذه العفاريت أنها تفتقد تلك العقبات أمام إمكانية التنقل. فالورم الذي يعذبها الآن – والذي يسمى رسميا بمرض الورم الوجهي للعفريت التسماني – يتشكل أساسا داخل الفم أو قريبا منه، وتقوم الحيوانات بعضِّ الواحد منها الآخر بشكل متكرر أثناء كل من التزاوج والقتال ويكون ذلك عادة على الوجه. ومن ثم، فإن سلوكياتها تنقل الخلايا الخبيثة مباشرة من فرد إلى آخر، إما عن طريق العض بأسنان مغطاة بالخلايا المتناثرة من ورم مجاور أو بالاتصال المباشر ما بين ورم وجهي وجروح على الطرف الآخر. إن الورم التناسلي للكلاب ينتشر بالمثل من خلال الاتصال المباشر ولكن في تلك الحالة نتيجة الاحتكاك الناتج من الاتصال بين الأعضاء التناسلية أثناء التزاوج. ويصير سرطانا الكلب والعفريت التسماني كلاهما سهل التفتت مع تقدم العمر وكبر الحجم، مما يسهل انتشار العدوى بجعل الخلايا سهلة الانفصال عن الكتلة الأصلية.

وإضافة إلى ذلك، فإذا ما اضمحلّ التنوع الوراثي في مجموعة – أي يكون لدى أغلب الأفراد نسخ متماثلة جدا من الجينات التي كانت فيما مضى موجودة بصيغ أكثر تعددا وتنوعا في المجموعة الواحدة – فإن الجهاز المناعي لأحد الأفراد يواجه صعوبة في تمييز الخلايا من فرد آخر باعتبارها خلايا غريبة، ومن ثم فلن يحاول مهاجمتها نهائيا أو في أفضل الأحوال سيبدي استجابة مناعية ضعيفة. والتنوع الوراثي في العفاريت التسمانية منخفض، لاسيما في جينات مركب التوافق النسيجي الرئيسة – وربما نشأ ذلك عن تناقص كارثي في أعدادها في وقت مضى أو ربما من أمراض نجت منها فقط مجموعة من الحيوانات التي لها تكوين وراثي شديد التماثل. ويُعتقد أيضا أن سرطان الكلاب تطور في مجموعة صغيرة ومحدودة وراثيا تكاثرت فيما بينها، إما في مجموعة منعزلة من الذئاب أو في مجموعة عاشت في حدود وقت بداية استئناسها.

(إن الظروف التي ساعدت على انتشار **العدوى** contagion في العفاريت التسمانية وفي الكلاب تفسر أيضا لماذا تنتقل أحيانا الأورام من الأم إلى جنينها في البشر أو من مانحي الأعضاء إلى مستقبليها. وفي كلتا الحالتين، تمر خلايا الورم سريعا من العائل الأصلي إلى التالي. وكذلك فإن الأجنة لها أجهزة مناعية غير مكتملة النضج، ويتناول متلقو الأعضاء أدوية تثبط المناعة لحماية العضو الجديد من أن يُرفض).

وقد كشفت التحاليل الوراثية أن أورام العفاريت التسمانية المصابة تنحدر من خلايا سرطانية بدأت في عفريت تسماني وحيد مات منذ زمن بعيد؛ بالذات لأن خلايا الورم تشترك في نقص ذي دلالة لصبغيات محددة وأجزاء صبغية ليست مفقودة في الخلايا الأخرى للضحية. ونظرا لأن المصدر الأصلي للورم قد مضى منذ وقت طويل، فلن يعرف أحد يقينا ما الذي سَبَّبَ الطفرات الأولى التي سمحت لسرطان العفريت التسماني بأن يغدو معديا. ومع ذلك، فربما نشأ السرطان عن طفرات حدثت في الخلايا الموجودة في الوجه أو قريبا منه نتيجة لجروح متكررة والتهاب مزمن، وهو ما يعرف في علم أسباب الأمراض

(*) A Fast-Spreading Scourge

بتسرطن الجروح. قدمت <P.E. مارشيسون> [من معهد سانگر التابع لِولكم تراست في إنگلترا] مزيدا من التحديد عام 2010؛ في مقالة نشرت في مجلة **ساينس** *Science* حيث أعلنت أن ورم العفريت التسماني نشأ في **خلايا شوان** Schwann cells التي تغلف النورونات خارج الجهاز العصبي المركزي.

إن خليط العوامل التي جعلت من مرض الورم الوجهي للعفريت التسماني وسرطان النابيّات المعدي أمراضا معدية قد يوحي أن السرطانات من النادر أن تكون معدية بصورة طبيعية؛ لأن الظروف المطلوبة – اتصال حميم يسمح بانتقال الخلايا الحية مع تنوع وراثي منخفض – لا تتوافر إلا بصعوبة بالغة في الطبيعة. ومع ذلك، تقترح ملاحظات أخرى أن السرطانات المعدية قد تكون أكثر شيوعا من الاعتقاد السائد. فعلى سبيل المثال، جميع الطيور والثدييات تتقاتل وتتزاوج، والكثير من مجموعاتها تتزاوج فيما بينها إلى حد كبير. عندئذ من المحتمل أن السرطانات المعدية تنشأ بمعدل أكبر مما ندركه، غير أنها عادة لا تستمر في العالم طويلا – ربما لأنها تقتل مجموعات عوائلها المصابة بالعدوى (وبالتالي نفسها) بصورة سريعة.

أما سرطان الكلاب فلا يوائم هذا النمط، ولكنه يشير إلى طريقة أخرى قد توجد بها السرطانات المعدية دون أن تكون معلومة لدينا. فاليوم تنجح سرطانات النابيّات في الاختفاء من الجهاز المناعي في البداية، ولكن في النهاية «يرى» الجهاز المناعي الأورام الخبيثة ويدمرها، تاركا الحيوانات محصنة ضد الإصابة المستقبلية. كما قد توجد في الطبيعة أيضا سرطانات أخرى معدية لا تقتل عوائلها. فقط دراسة وراثية مفصلة مثل التي أُجريت على أورام الكلاب والعفريت التسماني، هي التي ستميّز بوضوح ما إذا كان سرطان بري ما معديا حقا.

الأمر الذي ينتظرنا في المستقبل(*)

في الطبيعة عادة ما تتطور العوائل و**المُمْرضات** pathogens سويا عبر الزمن من خلال تطوير العائل تكيفا للتحكم في المرض ومن ثم اتخاذ المرض إجراءات مضادة، وتكون المحصلة استمرار كليهما. لذلك، فقد تساءلنا عن إمكانية وجود أدلة لهذا التردد التطوري ما بين السرطان المعدي وعوائله من العفاريت، ومن ثم قد نجد بصيصا من الأمل لتلك الحيوانات، وفعلا وجدنا ذلك.

تقع العفاريت التسمانية تحت ضغوط تطورية هائلة لتطوير أي سمة قد تحسّن من بقائها أو تزيد من تكاثرها. وخلال السنوات المنصرمة منذ نشوء سرطان العفريت التسماني، فقد حثّ بالفعل استجابة في عائله: لجأت العفاريت التسمانية إلى الاتصال الجنسي في سن المراهقة. وقديما كانت الإناث تبدأ بالتزاوج عند سن العامين وكانت تربي نحو ثلاث ذرارٍ في عمرها الممتد ما بين 5 إلى 6 سنوات؛ وقد خفّض المرضُ عدد الذراري إلى ذرية واحدة لكثير من الحيوانات. ويمكن للإناث اليافعة التي تنمو بسرعة كافية في الأشهر القليلة الأولى بعد الفطام أن تربي ذرية واحدة قبل سنة من المعتاد إذا أنجبت صغارها قبل دخول فصل الشتاء؛ وهذا الإنجاب المبكر قد يعطي فرصة على الأقل لتربية واحدة وربما اثنتين من الذراري قبل استسلامها للسرطان. وإذا ما أُتيح وقت كاف، فإن مثل هذا السلوك قد يساعد على الحفاظ على أعداد هذا النوع.

وبالتعاون مع طالب الدكتوراه <R. هميدي>، فإننا نبحث عن أدلة أخرى للتطور في معيشة الحيوانات في المنطقة الشمالية الغربية المعزولة نوعا ما من تسمانيا. فمجموعة عفاريت المنطقة الشمالية الغربية تحمل العديد من الجينات المختلفة عن الأنواع الموجودة في الشرق الأقصى، وتبدو المجموعة أكثر قدرة على مقاومة المرض. فعندما يصادف الورم أنماطا وراثية مختلفة للمرة الأولى، فإنه لا يسبب أي انحدار في تعدادها. ويبقى معدل انتشار المرض منخفضا وتبقى العفاريت التسمانية المصابة بعدوى السرطان على قيد الحياة لفترة أطول مقارنة بالحالة في تسمانيا الشرقية. وكنا نرجع إلى مواقع مختلفة في الشمال الغربي عدة مرات في العام لمراقبة طبيعة ميول المرض ولجمع عينات من الأنسجة والدم والتي يساعدنا على تحليلها زميلانا <K. بيلوڤ> [من جامعة سيدني] و <G. وودز> [من معهد منزيس للبحث في تسمانيا]. وبالنظر إلى الجينات والاستجابات المناعية، يحاول <بيلوڤ> و <وودز>، على التوالي، فهم ما إذا كان أي توفيق محدد من جينات مختلفة يجعل الجهاز المناعي للحيوانات ملائما لمحاربة السرطان. وإذا أمكننا إيجاد أنماط وراثية عفريتية مرنة، فقد نكون قادرين على المساعدة على نشر الجينات الجيدة في المجموعات البرية على سبيل المثال، عن طريق توطيد الحيوانات المقاومة في مناطق أخرى من تسمانيا ومن ثم تسريع انتعاش الأنواع.

ونحن أيضا نشاهد تغيرات تطورية في الورم نفسه. فقد لاحظت أخصائية علم الوراثة <M-A. پيارس> [من برنامج إنقاذ العفريت التَسماني وهي مبادرة تساندها حكومتا أستراليا وتسمانيا] ظهور عدد من السلالات. قد يكون هذا التنوع

(*) WHAT LIES AHEAD



خبرا سارا أو لا يكون. فمن جهة يمكن أن تتطور بعض السلالات لتصبح أقل ضراوة، ولكن على الجانب الآخر فإن السلالات المتباينة قد تتطور للتغلب على أي مقاومة قد تتطور في مجموعة العفريت التسماني.

إن تاريخ تطور سرطان الكلاب يوفر أساسا لبعض التفاؤل. فكما هو صحيح بالنسبة إلى العديد من الأمراض، فإن ورم النابيّات المعدي ربما بدأ أصلا بضراوة شديدة، كما هو الحال في ورم العفريت التسماني، ثم تطور مع مرور الوقت مع عوائله النابية لتقل ضراوته، ومن ثم يزداد معدل نجاح الورم بصورة عامة: بمعنى أن نقص الضراوة يُمكِّن العائل من أن يحيا مدة أطول مع المرض وينشره في المزيد من الحيوانات. وهذا النمط قد يفسر كيف أن سرطان الكلاب على ما هو عليه اليوم عدوى غير مميتة بصورة عامة.

إن الأورام المعدية لا تتطور فحسب، ولكنها ربما تغير أيضا عوائلها بالقدر نفسه الذي تغيّر به الطفيليات سلوك عوائلها لتزيد من انتقالها. فتحث الأورام النابية إناث الكلاب على إنتاج كيماويات تزيد من قابليتها الجنسية، وبذلك تحسن من احتمالات تمرير السرطان إلى الذكور. وسلالات ورم العفريت التسماني التي تحُثّ على العدوانية في عوائلها واضح أنها ستُنْتَقى، الأمر الذي يزيد من معدلات نقل العدوى. غير أنه من الممكن أيضا أن تُنتقى الأقل عدوانية لأن الحيوانات الأكثر هدوءا ستكون أقل نزوعا إلى القتال، ومن ثم إلى الإنتان. ونحن نراقب التردد التطوري ما بين العفريت التسماني وسرطانه باهتمام كبير.

نأمل – بتوافر العزيمة والتمويل الكافي – إنقاذ العفريت

(*) How Cancer Becomes “Catching”

التســماني من الانقراض، مما يســمح له بأن يســتكمل دوره التاريخي كمفترس في قمة السلسلة الغذائية في أماكن عديدة ضمن نطاقه. فمن المتوقع أن يؤدي خلو تلك المساحات من هذا العفريت إلــى تغيرات متتالية في النظــام البيئي – مثل زيادة الافتــراس من جانب القطط والثعالب المجلوبة – الأمر الذي قد يؤدي إلى انقراض العديــد من الأنواع الأخرى. وقد أدى مثل هذا النمط بالفعل إلى انقراض العديد من الجرابيات الصغيرة على البر الرئيس في أستراليا: والآن فإن تسمانيا هي ملجؤها الأخير. وسيتوقف نجاح الجهود المبذولة لمنع العفريت التسماني من الانقراض على ما سوف نتعلمه في شمال غرب تسمانيا.

هل تمثل السرطانات المعدية خطورة على البشر؟(*)

بافتراض أن لدى البشــر تنوعا وراثيا هائلا ويمكنهم تجنب الوسائل التي تعزز العدوى بالأورام، فإنه قد يبدو من السلامة افتراض أن نوعنا يســتطيع بســهولة تجنب مصير عفاريت تسمانيا. وبالفعل حتى إذا تعرض شخص ما للعض من قبل عفريت تســماني أو كلب مصاب بورم النابيّات المعدي، فإنه من المحتمل أن تكوين الشخص الوراثي (لأنه مختلف جدا عن ذلك الخاص بالحيوان) قد يُؤَمِّن استجابة مناعية قوية قادرة على اكتشــاف وقتل الخلايا الغازية؛ ولن يمرض الشــخص الذي تعرض للعض أو ينشر المرض بين الآخرين.

ومع ذلك فهناك سبب للقلق. فنظريا يمكن أن تنشأ سرطانات معدية في مجموعة من القردة العليا (مثل الشمپانزي والغوريلا وإنســان الغاب) ذات التنوع الوراثــي المنخفض نظرا لتدهور أعدادها. وإذا ما تم اصطياد هذه الحيوانات من قبل مجموعات بشرية يعاني العديد من أفرادها قصورا مناعيا، فإن الاتصال القريــب ربما يمكّــن خلايا الورم من الانتقال للبشــر ومن ثم الانتشــار. ومثل هذه الظروف تتوافر عندما يقوم بشر ينتشر بينهم **ڤيروس عوز (نقص) المناعة البشـرية المكتسب** (HIV) انتشارا واســعا باصطياد القردة المهددة بالانقراض. ومع أن هذا الحــدث محتمل، إلا أننا نعتقد أن الانتقال ما بين الأنواع ليس الطريقة الأكثر احتمالا لنشــأة ســرطان معدٍ في البشر. ونحن نتمســك بهذا الرأي جزئيا؛ لأنه لا توجد حالات معروفة لانتقال سرطان الكلاب عبر الأنواع في الطبيعة (على الرغم من أن هذا المرض أمكن نقله بالتجارب إلى نابيّات شــديدة الصلة وأخرى بعيدة الصلة في المختبر).

ولكــن لا تزال المجموعات البشــرية المزدهرة تغير العالم بطرق غير مسبوقة. إن الڤيروس HIV قد أصاب ملايين الناس بالعدوى مثبطا أجهزتهم المناعية ومؤديا إلى نشوء العديد من السرطانات التي كانت نادرة ذات يوم. وهذه الحالة قد تؤدي إلى تطور ســرطان معدٍ. إن احتمالية نشوء سرطان معدٍ في بشر ذوي مناعة مثبطة ومن ثم تطور القدرة على إصابة عامة السكان بالعدوى هو أمر وارد جدا. وهذا النمط هو ما حدث تماما في الكلاب: فســرطان النابيّات المعدي بعد نشــأته في الغالــب في جماعة متزاوجة فيما بينها (مجموعة غير متباينة وراثيا) هــو الآن قادر على إصابــة مجموعات كلاب وذئاب متباينة وراثيا. وكون ســرطان الــكلاب غير فتاك هذه الأيام فذلــك ليس بالأمــر المطمئن تماما. فكما لاحظنا ســابقا فإن المــرض مَرّ بمرحلــة كان فيها على الأغلــب قاتلا للعديد من عوائلــه، كما هو الحال مع الڤيروس HIV اليوم، وذلك قبل أن تتضاعف أعداد الأفراد القادرين طبيعيا على الســيطرة على انتشار السرطان والهيمنة عليه.

ويوفــر ســرطان العفريت لعلمــاء الأحيــاء فرصة فريدة لفهم الســرطانات المعدية. كما أنه يسهم في تذكيرنا – بأشد الأساليب وحشية – بعواقب النشاطات البشرية على كوكبنا. إننا نطلق كميات كبيرة من المسرطنات في بيئتنا، وندمر موائل الحياة الطبيعية في العالم، فنسبب خسائر في كل من الأنواع والتنــوع الوراثي. إن التجارة العالمية وتدمير الموائل الطبيعية يضعان البشــر والحياة البرية في اتصال مع المُمْرضات التي لم يســبق لهم مواجهتها. ونتيجة لذلك، يمكننا أن نتوقع زيادة في أنواع جديدة من السرطان في الحياة البرية، سواء المعدية أو تلك التي تســببها الڤيروســات وغيرها من الممرضات. ولا يصعب تَصوّر أن تلك الســرطانات الخبيثــة قد تقفز ما بين الأنواع – وصولا حتى إلى الإنسان. ■

(*) IS INFECTIOUS CANCER A RISK TO HUMANS?

مراجع للاستزادة

To Lose Both Would Look Like Carelessness: Tasmanian Devil Facial Tumour Disease. Hamish McCallum and Menna Jones in *PLoS Biology*, Vol. 4, No. 10, pages 1671–1674; October 17, 2006.

Conservation Management of Tasmanian Devils in the Context of an Emerging, Extinction-Threatening Disease: Devil Facial Tumor Disease. Menna E. Jones et al. in *EcoHealth*, Vol. 4, No. 3, pages 326–337; September 2007.

Life-History Change in Disease-Ravaged Tasmanian Devil Populations. Menna E. Jones et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 105, No. 29, pages 10023–10027; July 22, 2008.

Transmission Dynamics of Tasmanian Devil Facial Tumor Disease May Lead to Disease-Induced Extinction. H. McCallum et al. in *Ecology*, Vol. 90, No. 12, pages 3379–3392; December 2009.

Evidence That Disease-Induced Population Decline Changes Genetic Structure and Alters Dispersal Patterns in the Tasmanian Devil. Shelly Lachish et al. in *Heredity*, Vol. 106, No. 1, pages 172–182; January 2011.

Save the Tasmanian Devil Program (an initiative of the Australian and Tasmanian governments): www.tassiedevil.com.au/tasdevil.nsf

Scientific American, June 2011

نشوء الأجداد[*]

لعل كبار السن هم السر الذي يكمن وراء نجاح جنسنا البشري.

<R. كاسپاري>

أثناء صيف عام 1963، وعندما كنت في سن السادسة من العمر، سافرت عائلتي من بيتنا الكائن في فيلادلفيا إلى لوس أنجلوس لزيارة أقارب والدتي هناك. وكنت أعرف جدتي حق المعرفة لأنها ساعدت والدتي على السهر على رعايتي ورعاية أَخَويَّ التوأمين اللذين لا يصغرانني إلا بثمانية عشر شهرا فقط. وعندما لم تكن جدتي تعيش معنا كانت تقطن مع والدتها، التي التقيت بها للمرة الأولى في ذلك الصيف. وأنا أنحدر من عائلة مُعمِّرة، فقد ولدت جدتي عام 1895، أما والدتها فولدت في ستينات القرن التاسع عشر، وعاشت كل منهما نحو مئة عام. وقد عشنا مع رَأْسَيْ العائلة هاتين عدة أسابيع. ومن خلال الحكايات التي كانتا تقصَّانها على مسامعي تعرَّفت على جذوري الأسرية وعلى موقع انتمائي في الشبكة الاجتماعية التي امتدت على مدى أربعة أجيال متعاقبة. وقد جعلتني ذكرياتهما أرتبط شخصيا بالحياة التي كانت سائدة في نهاية الحرب الأهلية وفترة إعادة الإعمار، وأيضا بالتحديات التي واجهها أجدادي وسبل تحمُّلها ومجابهتها.

قصتي هذه ليست فريدة من نوعها، فكبار السن يؤدون أدوارا جوهرية في حياة المجتمعات البشرية التي يوجدون فيها في جميع أنحاء المعمورة، فهم ينقلون الحكمة ويقدمون الدعم الاجتماعي والاقتصادي إلى أسر أبنائهم وإلى المجموعات الأكبر من ذوي القربى. في زمننا المعاصر، فإن استمرار عيش الناس إلى أن يصبحوا أجدادا يُعدُّ من الأمور الروتينية المألوفة في الحياة. فمتى أصبح وجود الأجداد أمرا سائدا، وكيف أسهمت ديمومتهم في التأثير في تطور البشر؟

يشير البحث الذي أقوم به إلى جانب زملائي إلى أن الأشخاص الذين تقدَّمتْ بهم السن إلى أن صاروا أجدادا أصبحوا شائعي الوجود مؤخرا نسبيا في فترة ما قبل التاريخ، وأن هذا التغيير حدث في ذات الوقت تقريبا الذي نشأت فيه التحولات الثقافية نحو أشكال السلوك ذات الملامح المعاصرة الجليّة – التي تشمل الاعتماد على نوع من التواصل المتطور المستند إلى الرموز الشبيهة بذلك النوع الذي يُبنى على أساسه الفن واللغة. وتشير هذه الاكتشافات إلى أن العيش إلى سن متقدمة كانت له تأثيرات عميقة في الأحجام السكانية والتفاعلات الاجتماعية والوراثة عند الجماعات البشرية المعاصرة الأولى، ويمكنها أن تعلل أيضا سبب نجاحهم وتفوقهم أكثر من المجموعات البشرية القديمة، مثل **النياندرتاليين (البشر البدائيين)** neandertals.

إن الخطوة الأولى لمعرفة متى أصبح وجود الأجداد عنصرا أساسيا في المجتمع هي تقييم الفئات العمرية النموذجية للسكان في الماضي – ما هي نسبة الأطفال والبالغين ممن

(*) THE EVOLUTION OF GRANDPARENTS

باختصار

بشكل عام يعمّر الناس حاليا إلى أن يصبحوا أجدادا، ولكن نصاب الأمور لم يكن دائما على هذه الحال.

فالتحاليل الحديثة لأحافير الأسنان تشير إلى أن الأجداد كانوا نادري الوجود عند الشعوب القديمة، مثل شعوب **الأسترالوپيتيسين** australopithecines و**النياندرتاليين (البشر البدائيين)** neandertals.

وشاع وجود الأجداد للمرة الأولى قبل نحو 30 000 سنة، وذلك حسب ما تشير إليه بقايا الأوروبيين المعاصرين الأوائل.

وقد تكون هذه الزيادة في أعداد كبار السن هي القوة الدافعة وراء التضخم الهائل في ظهور أنواع جديدة من الأدوات وأشكال الفنون التي انتشرت في أوروبا في الفترة الزمنية ذاتها تقريبا. وقد تفسِّر أيضا كيف تفوقت الجماعات البشرية المعاصرة على المجموعات البشرية القديمة مثل النياندرتاليين.





المؤلفة

Rachel Caspari

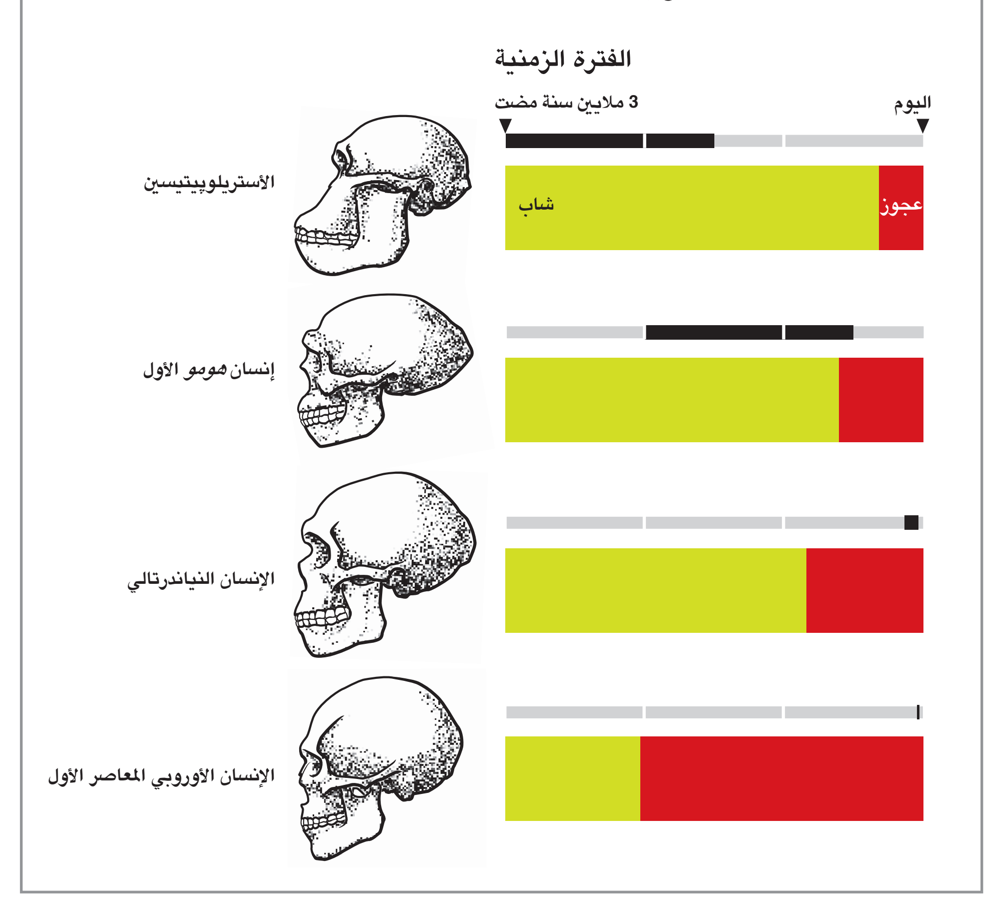
<كاسپاري> أستاذة الأنثروبولوجيا (علم الإنسان) في جامعة سنترال ميتشيگان، وتتمحور أبحاثها حول الإنسان النياندرتالي (البدائي)، وأصول البشر المعاصرين ونشوء طول العمر (البقيا).

هم في سن الإنجاب وآباء البالغين الأصغر سنا؟ غير أن إعادة بناء الديموغرافيا السكانية القديمة هي قضية شائكة لعدة أسباب: أولها، عدم وجود سجل أحفوري يحفظ مجموعة سكانية بأكملها، وليس في متناول علماء المستحاثات (الأحافير) سوى شظايا من بقايا الأفراد. وسبب آخر هو أن البشر الأوائل لم ينضجوا بالضرورة بنفس معدل نضوج البشر المعاصرين. وفي واقع الأمر، تتفاوت معدلات النضوج حتى بين المجموعات السكانية المعاصرة. ولكن هناك عدد قليل من المواقع تحوي في نفس طبقات الرواسب أعدادا من الأحافير البشرية التي تكفي لتمكين العلماء من تقدير موثوق به لعمر المتوفى من خلال البقايا – وهذا يعد مفتاحا لفهم تركيبة المجموعة البشرية في مرحلة ما قبل التاريخ.

ويوجد أحد هذه المواقع في مأوى صخري يقع في مدينة كراپينا بكرواتيا على بعد 40 كيلومترا شمال غرب مدينة زغرب. فمنذ قرن ونيِّف قام عالم الأحافير الكرواتي <D. G.> كرامبرگر بالتنقيب في هذا الموقع ووصف شظايا بقايا نحو 70 شخصا من الإنسان النياندرتالي الموجودة فيه والتي جاء معظمها من طبقة يعود تاريخها إلى نحو 000 130 سنة خلت. وقد وُجد العدد الأكبر من الأحافير في أماكن قريبة من بعضها. إن التجمع السريع والواضح للرواسب في الموقع وحقيقة أن بعض البقايا تشترك في سمات مميزة ومحددة وراثيا، كل ذلك يشير إلى أن العظام في مدينة كراپينا تقارب بقايا قبيلة واحدة من قبائل الإنسان النياندرتالي. وكما يحدث غالبا في سجل الأحافير، فإن الأسنان هي أفضل البقايا المحفوظة في مدينة كراپينا وذلك بسبب محتواها العالي من المعادن الذي يحميها من التآكل. ولحسن الحظ، فإن الأسنان هي أيضا واحدة من أفضل أعضاء الهيكل العظمي لتحديد عمر المتوفى، الذي يمكن التوصل إليه من خلال تحليل مدى تآكل السطح والتغيرات

التقدم بالعمر(*)

إن التحاليل التي أجريت على الأسنان المتحجرة لمئات الأفراد على مدى ثلاثة ملايين سنة تشير إلى أن العيش للوصول إلى مرحلة الأجداد أصبح شائعا في مرحلة متأخرة نسبيا من التطور البشري. وقد قيمت كاتبة هذا البحث وزملاؤها نسبة البالغين الكبار (ممن وصلوا إلى عمر الأجداد) إلى نسبة البالغين الشباب في أربع مجموعات من الأسلاف البشرية - الأستريلوبيثيسين australopithecines والأعضاء الأوائل من جنس إنسان *هومو* *Homo* والنياندرتاليين والأوروبيين المعاصرين الأوائل - ووجدوا أن النسبة لم تزد إلا بشكل متواضع فقط على مسار التطور البشري حتى قرابة 30 000 سنة خلت، حيث بدأت بالارتفاع إلى نسب عالية جدا.



الأخرى المرتبطة بالعمر في بنية الأسنان الداخلية.

في عام 1979، وقبل أن أبدأ بحثي في نشوء الأجداد، نشر <W. H. وولبوف> [من جامعة ميتشيگان] بحثا قيَّم فيه أعمار الأشخاص النياندرتاليين الموجودين في كرابينا عند وفاتهم، وذلك استنادا إلى بقايا أحافير أسنانهم الموجودة في الموقع. فالأضراس (الأسنان الطاحنة) **تطلع**(1) على التوالي. فباستخدام أحد أسرع الجداول لطلوع الأسنان عند البشر المعاصرين اليوم كدليل، قدَّر <ويلفورد> أن الأضراس الأول والثاني والثالث للإنسان النياندرتالي قد نشأت في أعمار تقارب سن السادسة والثانية عشرة والخامسة عشرة على التوالي. ويزداد تآكل الأضراس بوتيرة ثابتة جرَّاء المضغ خلال حياة الفرد، ولذلك عندما يظهر الضرس الثاني يكون الضرس الأول قد خضع لست سنوات من الاستهلاك، وعندما يظهر الضرس الثالث يكون الضرس الثاني قد تعرض للاستهلاك لمدة ثلاث سنوات.

ومن خلال حساب العمر بالرجوع إلى الوراء، يمكن للمرء أن يستنتج، على سبيل المثال، أن الضرس الأول الذي استهلك لمدة 15 عاما يعود إلى شخص نياندرتالي يبلغ من العمر 21 عاما، والضرس الثاني الذي استهلك لمدة 15 عاما يعود إلى شخص يبلغ من العمر 27 عاما، والضرس الثالث الذي استهلك لمدة 15 عاما يعود إلى شخص يبلغ من العمر 30 عاما. (يحتمل الشك في هذا التقييم بنسبة سنة واحدة فقط زيادة أو نقصانا). وطريقة التسلسل الزمني هذه القائمة على زمن تآكل الأضراس لتحديد العمر عند الوفاة مأخوذة عن تقنية طورها في عام 1963 الباحث في علوم الأسنان <A. E. W. مايلز>، وهي تعمل بشكل أفضل على عيِّنات بأعداد كبيرة من الأحداث، الموجودة بأعداد وفيرة في موقع مدينة كرابينا. فأسنان كبار السن الذين قد تكون تيجان أسنانهم متآكلة إلى درجة كبيرة لا يمكن تقدير أعمارهم بشكل موثوق به، وحتى في بعض الحالات قد تكون الأسنان متآكلة بالكامل.

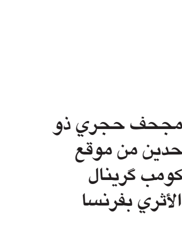
وأشار بحث <وولبوف> إلى أن الإنسان النياندرتالي الموجود في موقع مدينة كرابينا قد فارق الحياة وهو لا يزال في ريعان شبابه. وفي عام 2005، بعد بضع سنوات من مباشرتي البحث في نشوء طول العمر، قررت إعادة دراسة هذه العيِّنة باستخدام أسلوب جديد. لقد أردت التأكد من أننا لن نفوِّت فرصة معرفة أعمار كبار السن بسبب معوقات

(*) Growing Older
(1) erupt

الثقافة هي وليدة العصر(*)

إن زيادة ملحوظة في بقيا[1] البالغين بدأت في أوروبا قبل نحو 000 30 سنة خلت قد تعلل التحول الثقافي الكبير الذي أعقبها هناك، حيث إن التقنيات البسيطة نسبيا للعصر الحجري القديم الأوسط مهَّدت لصناعة الأسلحة المتطورة والفنون في العصر الحجري القديم الأعلى. والقطع الأثرية (التحف) المعروضة أدناه تمثل التقاليد الثقافية لكلا العصرين.

العصر الحجري القديم الأوسط



مجحف حجري ذو حدين من موقع كومب كرينال الأثري بفرنسا



حجر صوان (في اليسار) ومجحف scraper حجري ذو حد جانبي (في اليمين) من موقع موستييه الأثري بفرنسا

العصر الحجري القديم الأعلى



تمثال ڤينوس من السيراميك من موقع دولني ڤيستونيس الأثري بجمهورية التشيك



قلادة سن ذئب من موقع أبري كاستانيت الأثري بفرنسا



إزميل burin حجري من موقع قرية براسيمپوي الأثري بفرنسا



آلة فلوت عظمية من كهف الصخرة الجوفاء الأثري بألمانيا

طريقة التسلسل الزمني القائمة على زمن تآكل السن لتحديد العمر عند الوفاة. ومن خلال العمل مع <J. رادوڤيچ> [من متحف التاريخ الطبيعي الكرواتي في زغرب] وآخرين في جامعة ميتشيگان، إضافة إلى عدد من الطلبة الجامعيين من جامعة سنترال ميتشيگان، وضعت طريقة جديدة غير مُتلفة - باستخدام تصوير مقطعي حاسوبي ثلاثي الأبعاد وعالي الدقة - لإعادة تقدير عمر الأشخاص الموجودين في موقع كراپينا عند الوفاة. ونظرنا بشكل خاص في درجة نمو نوع من الأنسجة ضمن الأسنان يسمى **العاج الثانوي**[2]، إذ إن حجم العاج الثانوي يزداد مع تقدم السن ويوفر طريقة لتقدير عمر الفرد عند الوفاة عندما يكون تاج السن متآكلا لدرجة كبيرة بحيث لا يمكن أن يخدم كمؤشر جيد للدلالة على العمر.

والنتائج الأولية التي توصلنا إليها إضافة إلى صور المسح الإلكتروني التي قدمها معهد ماكس پلانك للأنثروبولوجيا التطورية في لايبزيگ، دعَّمت نتائج <وولپوف> وأثبتت صحة طريقة التسلسل الزمني القائمة على زمن التآكل أن البشر النياندرتاليين في موقع كراپينا كان لهم معدل وفيات عالٍ بشكل ملحوظ إذ لم يعش أحد منهم بشكل عام بعد الثلاثين من العمر. (وهذا الاستنتاج لا يعني بالضرورة أن جميع البشر النياندرتاليين لم يعيشوا بعد سن الثلاثين، فقد كانت هناك عيِّنات لبعض الأفراد من مواقع أخرى غير موقع كراپينا تدل على أن أعمارهم كانت نحو الأربعين عند الوفاة.)

يعتبر نموذج الوفاة في كراپينا بمقاييس اليوم من الأمور التي يصعب تخيلها. فبعد كل شيء، يعتبر سن الثلاثين بالنسبة إلى معظم الناس هو الحياة في أوج ريعانها. وفي الماضي القريب، كانت قبائل **القناصين - جامعي الغذاء**[3] تعيش أكثر من ثلاثين عاما. ومع ذلك، فإن الإنسان النياندرتالي في كراپينا لم يكن فريدا من نوعه بين البشر الأوائل. فالمواقع

(*) Culture Comes of Age
(1) survivorship
(2) secondary dentin
(3) hunter-gatherers

القليلة الأخرى للأحافير البشرية التي تحوي أعدادا كبيرة من الأفراد المحفوظين، مثل موقع «سيما دي لوس هيوسوس» الذي يقارب عمره 600 000 سنة في أتاپيورا بأسبانيا، تُظهر نماذج مشابهة لتلك الموجودة في كراپينا. ففي هذا الموقع كان للناس معدل وفيات عال جدا بين الأحداث والناشئة، إذ لم يعش أحد منهم بعد الخامسة والثلاثين من العمر وقلائل جدا هم الذين وصلوا إلى هذا العمر. ومن الممكن أن تكون الأحداث المأساوية أو الظروف الخاصة التي تحجَّرت فيها البقايا قد أسهمت بشكل أو بآخر في حفظها بشكل أفضل من الحفاظ على الأفراد الأكبر سنا في هذه المواقع. غير أن الاستطلاعات الواسعة لسجل الأحافير البشرية وللمواد الموجودة في هذه المواقع الغنية بشكل استثنائي، والمواقع الأخرى التي تحوي عددا أقل من الأفراد، التي قمت بها مع زملائي تشير إلى أن الوفاة في ريعان الشباب هي القاعدة وليست الاستثناء. وبإعادة صياغة كلمات الفيلسوف البريطاني <Th. هوبز>، فإن الحياة في مرحلة ما قبل التاريخ كانت في الواقع بغيضة وبهيمية وقصيرة الأمد.

ظهور الأجداد(*)

هذه الطريقة الجديدة للتصوير المقطعي الحاسوبي الثلاثي الأبعاد والعالي الدقة، لديها الإمكانية لتوفير صورة عالية الدقة والوضوح لأعمار الأفراد كبار السن في المجموعات البشرية المتحجرة الأخرى. ولكن قبل بضع سنوات، وقبل التوصل إلى هذا الأسلوب كنت مع <S.-هي لي> [من جامعة كاليفورنيا] جاهزين للبدء بالبحث عن دليل للتغيرات في طول العمر على مسار التطور البشري. وقد استعنا حينها بأفضل طريقة متوفرة، وهي طريقة التسلسل الزمني القائم على زمن التآكل.

بَيْدَ أننا واجهنا تحديا رهيبا. فمعظم الأحافير البشرية لا تأتي من مواقع، مثل موقع كراپينا، تحفظ العديد من الأفراد بحيث يمكن اعتبار البقايا انعكاسا للمجموعات السكانية الأكبر التي كانوا ينتمون إليها. فكلما كان عدد الأفراد المعاصرين قليلا في الموقع، ازدادت صعوبة تقدير عمر الأعضاء الأكبر سنا عند الوفاة بشكل موثوق به وذلك بسبب الشكوك الإحصائية المرتبطة بالعيِّنات الصغيرة.

ولكننا أدركنا أنه بإمكاننا التوصل إلى إجابة عن السؤال المتعلق بزمن شيوع الأجداد بطريقة أخرى. فبدلا من السؤال عن العمر الذي عاشه الأفراد طرحنا سؤالا آخر، وهو كم واحدا منهم بلغ سنا متقدمة. وهذا يعني أنه بدلا من التركيز على الأعمار المطلقة، قمنا بحساب الأعمار النسبية وسألنا عن نسبة البالغين الذين عاشوا إلى عمر يسمح لهم بأن يصبحوا أجدادا. وكان هدفنا من وراء ذلك هو تقييم التغيرات طوال فترة التطور، في نسبة كبار السن إلى الشباب – أي ما يسمى بنسبة **عجوز-شاب** OY ratio. وبين الرئيسات (أعلى رتب الثدييات)، بما فيهم البشر حتى وقت قريب جدا، يطلع الضرس الثالث في ذات الوقت تقريبا الذي يصبح فيه الفرد بالغا ويصل إلى سن الإنجاب. واستنادا إلى بيانات من قبائل الإنسان النياندرتالي وقبائل القناصين – جامعي الغذاء، توصلنا إلى استنتاج أن بَشَر هذه الأحافير طلع لهم الضرس الثالث وأنجبوا الطفل الأول في سن الخامسة عشرة تقريبا. وقد ضاعفنا هذا العمر لتحديد بداية مرحلة الأجداد – كما هي الحال اليوم فإن بعض النساء يمكنهن الإنجاب في سن الخامسة عشرة، وهؤلاء النساء يمكن أن يصبحن جدَّات عندما يصل أولادهن إلى سن الخامسة عشرة وينجبن.

ولأغراض البحث، فإن أي فرد من الجيل القديم يقدر عمره بثلاثين سنة أو أكثر مؤهل لأن يكون بالغا متقدما في السن – متقدم في السن ليصبح جَدًّا. ولكن يكمن جمال طريقة نسبة عجوز-شاب OY في أنه بغض النظر عن عمر النضوج سواء حصل في سن 10 أو 15 أو 20، فإن عدد الأفراد الأكبر أو الأصغر سنا في أي عيِّنة لن يتأثر لأن بداية **سن البلوغ** adulthood المتقدمة ستتغير تبعا لذلك. وبما أننا كنا نتطلع فقط إلى وضع الأحافير في هاتين الفئتين العمريتين العريضتين، فقد تمكّنا من ضم أعداد كبيرة من عينات الأحافير الأصغر في تحليلنا من دون أن تقلقنا الشكوك في الأعمار المُطْلقة.

لقد قمنا بحساب نسب عجوز-شاب OY لأربعة مجاميع كبيرة من عيِّنات الأحافير بلغ مجموعها 768 فردا تحجَّروا على مدى ثلاثة ملايين سنة. وقد ضم أحد المجاميع الأسترالوپيتيسين اللاحقين – وهم الأقارب البدائيين لأحافير **لوسي**(1)، التي عاشت في شرق إفريقيا وجنوبها قبل ثلاثة ملايين إلى 1.5 مليون سنة خلت. وكانت المجموعة الثانية تتألف من الأفراد الأوائل لجنسنا، إنسان هومو، من أرجاء الكرة الأرضية الذين عاشوا قبل مليوني إلى نصف مليون سنة مضت. والمجموعة الثالثة كانت للبشر النياندرتاليين الأوروبيين قبل نحو 130 000 إلى 30 000 سنة مضت. والمجموعة الأخيرة تتألف من الأوروبيين المعاصرين من العصر الحجري القديم الأعلى، الذين عاشوا ما بين 30 000 و 20 000 سنة مضت وخلفوا وراءهم آثارا ثقافية متطورة.

(*) RISE OF THE GRANDPARENTS

(1) لوسي Lucy هو الاسم الشائع لعدة مئات من قطع العظام التي تمثل نحو 40% من الهيكل العظمي لفرد من قبيلة الأستريلبيتيسين، وقد اكتشفت هذه العينة عام 1974 في منطقة هادار بوادي عواش بأثيوبيا. ويقدر أن هذه الأحافير عاشت قبل نحو 3.2 مليون سنة. (التحرير)

ومــع أننا كنا نتوقع اكتشــاف تزايد فــي طول العمر مع مــرور الوقت، لكننا لم نكن مهيئين لإحراز نتائج مبهرة كالتي توصلنــا إليها. فقد لاحظنا اتجاها بســيطا نحو تزايد طول العمر مع الزمن في جميع العينات، لكن الاختلاف بين البشر الأوائل والبشــر المعاصرين والبشــر مــن العصر الحجري القديم الأعلى، كان ظاهرا في زيادة كبيرة في نســبة عجوز-شــاب OY تصل إلى خمسة أضعاف. ومن ثمّ، فإنه بالنسبة إلى كل عشــرة شبان بالغين من الإنســان النياندرتالي ممن قضوا في أعمار تتراوح بين 15 و 30 ســنة، يوجد فقط أربعة بالغين أكبر ســنا ممن عاشــوا حتى تجاوزوا سن الثلاثين؛ وفي المقابل، بالنســبة إلى تصنيف الوفيات فإن لكل عشــرة شــبان بالغين من العصر الحجري القديم الأعلى الأوروبي، كان هناك نحو 20 جدًّا محتملا. ولمعرفة ما إذا كانت الأعداد الكبيرة لمواقع الدفن (للمقابر) التابعة للعصر الحجري القديم الأعلــى قد تعلل العدد الكبير لكبار الســن فــي تلك العيِّنة، قمنا بإعــادة تحليل عيِّنات العصر الحجــري القديم الأعلى التي لدينا وذلك باســتخدام تلك البقايا التي لم تدفن. ولكننا حصلنا على نتائــج مماثلة. والخلاصة التي لا مفر منها هي أن معــدل البقــاء على قيد الحياة للبالغــين ارتفع في مرحلة متأخرة جدا من التطور البشري.

بيولوجيا أم ثقافة؟(*)

والآن وبعــد أن تأكدت مع ‹لي› من أن عــدد الأجداد ارتفع في مرحلة ما من تطور البشر المعاصرين تشريحيا، يواجهنا ســؤال آخر مفاده: ما الــذي أحدث هذا التغييــر؟ لقد كان هنــاك احتمالان: إما أن تكون ســمة طــول العمر واحدة من مجموعات الســمات المضبوطــة وراثيا التي ميَّزت البشــر المعاصرين تشــريحيا من أسلافهم، أو أنها لم تأتِ مع ظهور التشريح المعاصر وكانت عوضا عن ذلك نتيجة لتحول لاحق في الســلوك. والبشر المعاصرون تشــريحيا لم يندفعوا في المشــهد التطوري ويصنعوا الفنون والأســلحة المتطورة التي تحدد معالم الثقافة الخاصة بالعصر الحجري القديم الأعلى. لقد نشــؤوا قبل أولئك الأوروبيين من العصر الحجري القديم الأعلى بزمن طويل، قبل ما يزيد على 100 000 ســنة مضت، وطــوال ذلك الوقــت كانوا هم ومن عاصرهم تشــريحيا من النياندرتاليين القدماء يســتخدمون ذات التقنيات البســيطة الخاصة بالعصر الحجري الأوســط. (يبــدو أن أعضاء كلتا المجموعتين قد انخرطوا في صناعة الفن والأســلحة المتطورة قبل مرحلة العصر الحجري القديم الأعلى، ولكن هذه التقاليد كانت سريعة الزوال مقارنة بتلك التقاليد الدائمة والثابتة التي ميَّزت الفترة التي لحقتها.) ومع أن دراســتنا أشارت إلى أن الزيــادة الهائلة في أعداد الأجداد كانت فريدة بالنســبة إلى البشــر المعاصرين تشــريحيا، إلا أنها لم تكن قادرة وحدها علــى التمييز بين التفســير البيولوجي والتفســير الثقافي، لأن البشــر المعاصرين الذين أجرينا الدراســة عليهم كانوا معاصرين تشــريحيا وثقافيا. فهل يمكن إرجاع طول العمر إلى البشــر الأوائل المعاصرين تشريحيا الذين لم يكونوا بعد معاصرين سلوكيا؟

للإجابــة عن هذا الســؤال قمت مع ‹لــي› بتحليل بقايا البشــر من العصــر الحجري القديم الأوســط الموجودة في مواقع أثرية في غرب آســيا يعود تاريخها تقريبا إلى الفترة ما بين 110 000 و 40 000 سنة مضت. وقد شملت العينة التي درســناها كلا من البشــر النياندرتاليين والبشر المعاصرين الذين لهم جميعا صلة بذات القطع الأثرية البســيطة نسبيا. وقد مكننا هذا الأســلوب من مقارنة نســب عجوز-شاب OY لمجموعتين مختلفتين بيولوجيا (العديد من العلماء يعتبرونهما نوعــين منفصلين) عاشــتا فــي ذات المنطقــة، وكانت لهما التركيبة الثقافية المتشــابكة ذاتها. وقد اكتشــفنا أن البشر النياندرتاليين والبشــر المعاصرين من غرب آسيا كان لديهما نسب عجوز-شاب OY متطابقة إحصائيا، مما يلغي فكرة أن التحول البيولوجي هو الذي يفســر الزيادة في بقاء البالغين علــى قيد الحياة التــي رأيناها عند الأوروبيــين من العصر الحجــري القديم الأعلى. فقد كان لدى هاتين المجموعتين من غرب آسيا نســب متعادلة من أعداد كبار السن بالنسبة إلى أعداد الشــباب مما يضع نســب عجوز-شاب OY الخاصة بهمــا بين تلك النســب التي تعود إلى البشــر النياندرتاليين والبشر المعاصرين الأوائل من أوروبا.

وبالمقارنة بالنياندرتاليين الأوروبيين، فإن نسبة أكبر بكثير من النياندرتاليين (والبشر المعاصرين) في غرب آسيا عاشوا ليصلوا إلى مرحلة الأجداد. وهذا الأمر لم يكن غير متوقع – فالبيئة الأكثر اعتدالا في غرب آسيا كان لها الأثر في تسهيل فــرص العيش والبقيا أكثر من الظروف البيئية القاســية في أوروبا العصر الجليدي. وإذا ســلَّمنا بأن البيئة المعتدلة في غرب آسيا هي التي تبرر ارتفاع نسب بقاء البالغين على قيد الحياة التي شــهدناها عند شــعوب العصر الحجري القديم الأوسط، فإن طول العمر عند الأوروبيين من العصر الحجري القديم الأعلى هي نتيجة أكثر إثارة للعجب والدهشــة. وعلى الرغم من العيش في ظروف أكثر قســوة وخشونة، كان لدى الأوروبيين من العصر الحجري القديم الأعلى نســبة عجوز-

(*) BIOLOGY OR CULTURE?

شـــاب OY تبلغ أكثر من تلك التي لدى البشر المعاصرين من العصر الحجري القديم الأوسط.

لا نعلم على وجه الدقة ما الذي قام بفعله هؤلاء الأوروبيون من العصر الحجري القديم الأعلى على الصعيد الثقافي حتى تمكــن العديد منهم من البقاء أحياء إلى أن وصلوا إلى ســن متقدمــة. ولكن مما لا شــك فيه هو أن هــذه الزيادة في بقاء البالغين على قيد الحياة بحد ذاتها كانت لها آثار بعيدة المدى. وكما أظهر كل من <K. هوكس> [من جامعة أوتا] و<H. كابلان> [من جامعة نيو مكسيكو] وآخرين في دراساتهم التي أجروها على عدد من مجموعات الإنسان القناص – جامع الغذاء في الزمن المعاصر، فإن الأجداد يقومون بشكل روتيني بتوظيف مواردهم الاقتصادية والاجتماعية في خدمة أبناء ذريتهم مما يسهم في زيادة عدد نسل أولادهم وبقيا أحفادهم. والأجداد أيضا يعززون الروابط الاجتماعية المعقدة – كما فعلت جدتي عندمــا رَوَتْ لي الحكايات عن أســلافي مما كان له الأثر في تعزيز أواصر العلاقة مع أقربائــي الآخرين من أبناء جيلي. ومثل هذه المعلومات تشــكل حجر الأســاس الذي يبنى عليه النظام الاجتماعي البشري.

وكبــار الســن ينقلون أيضــا أنواعا أخرى مــن المعرفة الثقافيــة – من المعلومات البيئية (على ســبيل المثال، ما هي أنواع النباتات الســامة أو أين يمكن إيجاد الماء أثناء فترات الجفاف) إلى المعلومات التقنية (كيفية نســج ســلَّة أو كيفية صناعة سكين من الحجر، ربما). وقد أظهرت الدراسات التي كان من روَّادها <P. ســتريملنك> [من جامعة ســتوكهولم] أن التكرار هو عامل حاسم في نقل القواعد والتقاليد لأي ثقافة. وتمتلك الأســر المتعددة الأجيال مزيدا من الأعضاء لضمان إيصال الدروس المهمة. ومــن ثم، من المفترض أن يقوم طول العمر برعاية التراكمات عبر الأجيال المتعددة ونقل المعلومات التي من شأنها أن تشجع على تشكيل نُظم القرابة المتشابكة والشبكات الاجتماعية الأخرى التي تمكننا من تقديم المساعدة وتلقيها عندما تشتد قسوة الحياة علينا.

والزيادات في البقيا تُرجمت أيضا إلى زيادات في الأحجام الســكانية وذلك بإضافة مجموعة عمرية لم تكن موجودة في الماضي وكانت لا تزال خصبة. والمجموعات السكانية الكبيرة هي دوافع رئيسية لنشوء أنماط جديدة من السلوك. ففي عام 2009، نَشَر <A. پاولّ> وزملاؤه [في جامعة لندن كوليج] بحثا في مجلة *ســاينس* أظهروا فيه أن الكثافة الســكانية تنعكس بشــكل مهم في الحفاظ على التشــابك الثقافي. ويرى هؤلاء الباحثــون وكثر غيرهم أن المجموعات الســكانية الأكبر كان لها الأثر في تعزيز نمو وتطور شــبكات تجارية مكثفة، ونظم معقــدة للتعاون، والتعبير المادي عن هوية الأفراد والجماعات (مجوهرات، طلاء الجسم، وغيرها). وعلى ضوء هذه الرؤية، فإن السمات المميزة للعصر الحجري القديم الأعلى – الزيادة الهائلة في اســتخدام الرموز، على ســبيل المثال، أو إدراج مــواد غريبة في صناعــة الأدوات – تبدو وكأنها كانت نتيجة للتضخم في حجم السكان.

لقد كان يمكــن للنمو في حجم الســكان أن يؤثر في أســلافنا بطريقــة أخــرى أيضا، وذلك بتســريع وتيرة التطور. وكما أكد <J. هوكس> [من جامعة ويسكونســن–ماديســون]، فإن وجود عدد أكبر من السكان يعني مزيدا من التحولات والفرص لوجود سلالات مدجّنة مفيدة تجتاح المجموعات الســكانية مع تكرار توالد أفرادها. وقد يكون لهــذا التوجه تأثير صارخ في البشــر الحديثين أكثر من تأثيره في البشــر بالعصر الحجري القديم الأعلى، وذلك بمضاعفة النمو الســكاني الهائل الــذي صاحب تدجين النباتات قبل نحو 10 000 ســنة. وقد تطرق <G. كوكران> و<H. هاربنديـنـگ> [وكلاهما من جامعة أوتا] في كتابهما بعنوان *«انفجار العشرة آلاف سنة»*، الذي نشر عام 2009، إلــى وصف متغيرات الجينات المتعــددة – من تلك التي تؤثر في لــون الجلد إلى تلك التي تحدد مدى تقبل حليب البقر – التي نشــأت وانتشرت بسرعة على مدار العشرة آلاف ســنة الماضية، ويعود الفضــل في ذلك إلى الأعداد المتزايدة للأفراد القادرين على التوالد.

من شــبه المؤكــد أن العلاقة بــين بقيا البالغين ونشــوء تقاليــد ثقافية متطورة جديدة، بدءا مــن تلك التي ظهرت في العصر الحجري القديم الأعلى، كانت عملية إيجابية **للتغذية الراجعــة** feedback. فــي أول الأمر صارت البقيا، باعتبارها أحد مخرجات شــكل ما من أشــكال التغير الثقافي، شرطا مســبقا لأشكال السلوك الفريدة والمعقدة التي تميز **الحداثة** modernity. وهذه الابتكارات بدورها عززت من أهمية البالغين الكبار وبقياهم، التي أدت إلى التوسعات السكانية التي كان لها مثل ذلك الأثر الثقافي العميق والآثار **الجينية** genetic في أسلافنا. فقد كانوا بحق أكبر سنا وأكثر حكمة. ■

مراجع للاستزادة

Older Age Becomes Common Late in Human Evolution. Rachel Caspari and Sang-Hee Lee in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, Vol. 101, No. 30, pages 10895–10900; July 27, 2004.

Is Human Longevity a Consequence of Cultural Change or Modern Human Biology? Rachel Caspari and Sang-Hee Lee in *American Journal of Physical Anthropology*, Vol. 129, pages 512–517; April 2006.

***Scientific American*, August 2011**

وكبديل، لنتخيّل كونا غريبا من دون زمن، ليس فيه سوى الفضاء. فإذا كان لهذا الكون بعد واحد أو اثنان أو أربعة أو ثمانية أبعاد، فإن كلا من جزيئات المادة والقوة سيوصَف موْجيا بنمط واحد من الأعداد - وهو عدد في **جبر قسمة** division algebra، وهذا الجبر هو النظام الوحيد الذي يسمح بالجمع والطرح والضرب والقسمة. وبعبارة أخرى، فإن المتجهات والسپينُرات تتطابق فيه: فكل واحد منهما مجرد أعداد حقيقية أو أعداد عقدية أو مرباعيات أو مثمانيات. فالتناظر الفائق يبرز بصفة طبيعية شريطة أن يكون هناك وصف موحد للمادة والقوى. فالضرب البسيط يصف التفاعلات، وجميع الجزيئات - بغض النظر عن نمطها - تستخدم نظام الأعداد نفسه.

إلا أن عالمنا اللعبة plaything لا يمكن أن يكون حقيقيا، لأننا بحاجة إلى أن نأخذ الزمن في الاعتبار. ولهذا الاعتبار في نظرية الأوتار أثر مثير للاهتمام. ففي كل لحظة من الزمن يمثّل الوتر شيئا وحيد البعد، كما مثل المنحنى أو المستقيم. ولكن هذا الوتر سيرسم بمرور الزمن سطحا ثنائي الأبعاد [*انظر الشكل في الصفحة 31*]. وهذا التطور يغيّر الأبعاد التي يظهر فيها التناظر الفائق، وذلك بالجمع مرتين - مرة للوتر ومرة للزمن. وبدلا من التناظر الفائق في بعد واحد أو اثنين أو أربعة أو ثمانية أبعاد فإننا نحصل على تناظر فائق في ثلاثة أو أربعة أو ستة أو عشرة أبعاد.

وعرضيا، كان منظرو الأوتار يرددون خلال سنوات أن صيغ الأبعاد العشرة للنظرية هي الوحيدة **المتسقة ذاتيا** self-consistent. أما الحالات الأخرى فإنها تعاني خللا في الطرح سُمّي **تشوّهات** anomalies، حيث يؤدي حساب الشيء نفسه بطريقتين مختلفتين إلى جوابين مختلفين. فنظرية الأوتار تفشل فيما عدا الأبعاد العشرة. غير أن نظرية الأوتار العشرية الأبعاد، كما رأينا آنفا، هي نسخة من النظرية التي تستخدمها المثمانيات. وبالتالي، إذا كانت نظرية الأوتار صحيحة، فإن المثمانيات ليست مجرد فضول؛ بل على العكس من ذلك، فهي تكشف عمق السبب الذي يجعل الكون ذا عشرة أبعاد: في عشرة أبعاد. تُدرَج جزيئات المادة والقوة في نمط الأعداد نفسه - وهي المثمانيات.

ولكن هذا ليس نهاية القصة. فقد شرع الفيزيائيون حديثا في تجاوز الأوتار في أبحاثهم وذلك بأن أخذوا في الاعتبار **الأغشية** membranes. وعلى سبيل المثال، فإن **الغشاء الثنائي** 2-brane، يبدو في كل لحظة كالورقة. وبمرور الزمن يرسم الغشاء حجما ثلاثي الأبعاد في **الزمكان** spacetime.

وفي حين كان ينبغي علينا، في نظرية الأوتار، إضافة بعدين إلى مجموعتنا المعيارية المؤلفة من واحد واثنين وأربعة وثمانية أبعاد، صار من الضروري اليوم إضافة ثلاثة أبعاد. ولذلك، عندما يتعلق الأمر بالأغشية علينا أن نتوقع بروز التناظر الفائق بشكل طبيعي في أربعة وخمسة وسبعة و 11 بعدا. وكما هو الحال في نظرية الأوتار، هناك مفاجأة تنتظرنا: يخبرنا الباحثون أن **النظرية M**[1] M-theory تتطلب 11 بعدا الأمر الذي يستوجب استعمال المثمانيات بشكل طبيعي. وللأسف، لا أحد يفهم النظرية M بما يكفي حتى لكتابة معادلاتها الأساسية (بحيث إن الحرف M يمكن في هذه الحالة أن يرمز أيضا إلى الحرف الأول من mysterious). إنه من الصعب أن نحدد بدقة الشكل الذي قد تأخذه هذه النظرية مستقبلا.

ولغاية الآن، ينبغي الإشارة إلى أن نظرية الأوتار والنظرية M لم تتنبأ بأي شيء يمكن التأكد منه تجريبيا. فهاتان النظريتان هما بمثابة أحلام جميلة ليس إلاّ. فالكون الذي نعيش فيه لا يبدو ذا 10 أبعاد أو 11 بعدا، ولم نلحظ أي تناظر بين جزيئات المادة والقوة. وحاليا، يقدر <D. گروس> [وهو أحد كبار الخبراء العالميين في نظرية الأوتار]، بنحو 50 في المئة رجحان الحصول على بعض شواهد التناظر الفائق في **المصادم الهدروني الكبير** Large Hadron Collider التابع للمنظمة الأوروبية للبحث النووي (CERN). أما المتشائمون فيقولون إن تلك النسبة أقل من ذلك بكثير. والأيام وحدها ستكشف لنا ذلك.

وبسبب هذا الغموض مازال الطريق أمامنا طويلا لمعرفة ما إذا كانت للمثمانيات الغريبة أهمية أساسية لفهم العالم الذي نعيش فيه، أو أن الأمر ليس سوى بعض الرياضيات الجميلة. وبالطبع، فإن جمال الرياضيات هدف نبيل في حد ذاته، لكن الأمر سيكون أكثر متعة لو اتضح أن المثمانيات تندرج ضمن ما جاد به نسيج الطبيعة. وكما يبين تاريخ الأعداد العقدية والعديد من التطورات الرياضياتية الأخرى فمن المؤكد أنها لن تكون المرة الأولى التي تزوّد فيها الإبداعات الرياضياتية البحتة الفيزيائيين بالأدوات الدقيقة التي سيحتاجون إليها مستقبلا. ■

(1) يرمز الحرف M إلى الحرف الأول من membrane = غشاء.

مراجع للاستزادة

An Imaginary Tale: The Story of the Square Root of −1. Paul J. Nahin. Princeton University Press, 1998.

The Octonions. John C. Baez in *Bulletin of the American Mathematical Society*, Vol. 39, pages 145–205; 2002. Paper and additional bibliography at http://math.ucr.edu/home/baez/octonions

Ubiquitous Octonions. Helen Joyce in *Plus Magazine*, Vol. 33; January 2005. http://plus.maths.org/content/33

Scientific American, May 2011

رائحة إنسان(*)

إن فكَّ كود الكيفية التي يشم بها البعوض أهدافه البشرية قد يؤدي إلى صنع فِخاخ ومنفّرات أفضل تكبح جماح انتشار الملاريا.

<J. R. كارلسون> – <A. F. كاري>

يمتلك البعوض قدرات شمّية متطورة ملحوظة. فهذه الحشرات التي تنشر الملاريا في جميع أنحاء إفريقيا جنوبي الصحراء الكبرى تأتي مجهزة بشكل متميّز للغاية للعثور على دم الإنسان. وهي تتحرك باتجاه رائحة النَّفَس والعَرَق البشريين، وعندها سرعان ما تُقحم أفواهها الشبيهة بالإبر في جلد الضحية. وأثناء تناولها طعامها ينقل لعابها طفيلي الملاريا إلى داخل الجرح. ومن ثَمَّ، فمن خلال لدغة بسيطة، يمكنها أن تؤدي إلى إزهاق حياة في نهاية المطاف.

يفضل البعوض الآخر أنواعا مختلفة من الحيوانات– مثل الماشية أو الطيور. حتى إن بعضها، على ما يبدو، يفضّل أفرادا بعينهم ضمن المجموعة المستهدفة؛ فبعض الناس المشاركين في حفلة شواء صيفية يتعرضون لهجوم البعوض بلا هوادة، في حين لا يتعرض بعضهم الآخر للّدغ مطلقا. ويمكن لبعض البعوض تعرّف ضحاياه عن بُعد أكثر من 165 قدما.

إذا تمكّن الباحثون من فهم كيفية عمل النظام الشمّي لدى البعوض – أي كيف يتمكن من اكتشاف تلك المجموعة المحددة بدقة من المواد الكيميائية الطيّارة المميزة لمصدرها المفضّل من الدم – فسيتمكنون من ابتكار طرق جديدة أكثر فعالية لطمس تلك الرائحة، أو «التشويش» على «الرادار» الشمّي لتلك الحشرات للوقاية من اللدغ. وفي البلدان المتقدمة، غالبا ما تكون مثل هذه اللدغات مجرد مصدر للإزعاج، لكنها في إفريقيا وغيرها من الأماكن تسبب ما يقرب من مليون حالة وفاة سنويا بسبب الملاريا وحدها.

نحن اثنان من بين العديد من الباحثين المصممين على مكافحة انتشار الملاريا. ومن دواعي سرورنا أننا حققنا في الآونة الأخيرة قفزات مثيرة فيما يتعلق بفك شفرة كيفية تمكّن بعوض ***أنوفيل گامبيي*** *Anopheles gambiae*، الناقل الرئيسي لطفيليات الملاريا، من اكتشاف رائحة ضحاياه من البشر. وتشير النتائج الحالية إلى أفكار لصنع المنفّرات والفخاخ التي يمكنها تعزيز الإجراءات الدفاعية الأخرى مثل الناموسيات، وربما التوصل إلى لقاح فعال في يوم ما.

جينات للروائح(**)

ولاستقصاء كيفية اكتشاف البعوض المسبّب للملاريا فرائسه البشرية، بدأنا بحشرة مختلفة، وهي ذبابة الفاكهة ***دروسوفيلا ميلانوگاستر*** *Drosophila melanogaster*. فعلى العكس من البعوض، يتكاثر ذباب الفاكهة بسرعة وتسهل تربيته في المختبر، كما يمكن تعديل جيناته بسهولة. وعليه أصبحت *دروسوفيلا ميلانوگاستر* الحيوان الذي تجرى عليه الأبحاث في العديد من المختبرات، ولذلك استخدمناها لاكتشاف الآليات الخلوية والجزيئية الأساسية المتعلقة بحاسة الشم لدى الحشرات، وهي معرفة يمكننا تطبيقها في التجارب

(*) SCENT OF A HUMAN
(**) GENES FOR ODORS

باختصار

لم يفهم العلماء بصورة كاملة كيفية تمييز البعوض لرائحة عَرَق ونَفَس البشر من غيرها من الروائح الموجودة في الطبيعة.

قام المؤلفان بإدغام جينات البعوض في ذباب الفاكهة – في المختبر – لإنتاج كواشف للروائح، ومن ثم اختبار حساسيتها لنحو 110 مواد ذات رائحة. أظهرت التجارب وجود مجموعة صغيرة من كواشف الرائحة لدى البعوض، والموجهة بدقة لكشف رائحة البشر. ويمكن لتشخيص المواد الكيميائية التي يمكنها خداع أو إعاقة تلك المستقبلات الموجهة أن يؤدي إلى تحسين الفخاخ والمنفّرات، مما يمكنه من أن يساعد على كبح جماح انتشار الملاريا.







John R. Carlson

<كارلسون> أستاذ البيولوجيا الخلوية والجزيئية والنمو في جامعة ييل، وقد درس الأسس الجزيئية والخلوية لحاسة الشم لدى الحشرات لمدة 25 عاما.



Allison F. Carey

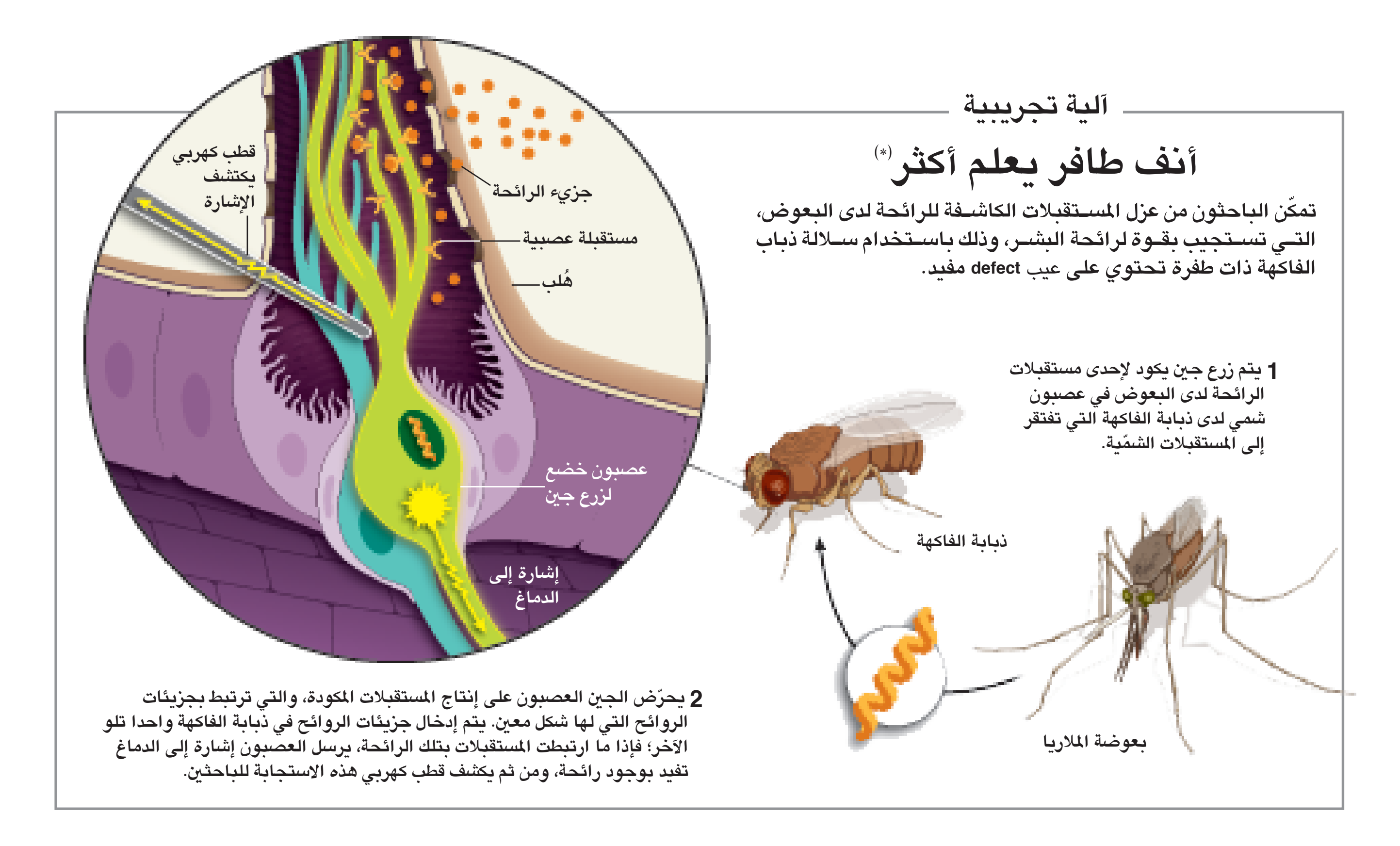
<كاري> تخرجت حديثا من جامعة ييل بشهادة طبيب (دكتور) ودكتوراه في علم الأعصاب. وتواصل أبحاثها عن الملاريا في معهد باستور بباريس.

الأكثر صعوبة على البعوض الأصعب في التعامل معه.

إن ذباب الفاكهة، مثل البعوض، يكشف عن الرائحة بواسطة قرون استشعار ولوامس فكية، وهي أعضاء تبرز من الرأس وتعمل بمنزلة الأنف. أما **الشعيرات الصغيرة (الهُلب)** tiny bristle التي تغطي هذه النتوءات فتغلّف نهايات الخلايا العصبية التي يمكن استثارتها، والمكرّسة للشمّ. تتسلل جزيئات الرائحة من خلال المسام الموجودة في الشعيرات لتصل إلى الجزيئات، أو «المستقبِلات»، المكتشِفة للروائح في الداخل. وعندما ترتبط الجزيئات بمستقبلات الرائحة، ترتحل إشارة كهربية عبر الخلية العصبية، أو العصبون، إلى دماغ الحشرة، مشيرة إلى أن الرائحة موجودة.

وطوال سنوات، حاولنا مع غيرنا من الباحثين، دون جدوى، العثور على الجينات الخاصة بمستقبلات الرائحة في الحشرات، آملين بأن نتوصل إلى الكيفية المحددة التي تتمكن بها هذه المخلوقات من التمييز بين الروائح التي لا تعدُّ ولا تحصى في البيئة. وأخيرا بدأت الاكتشافات تتوالى في عام 1999، حين تمكّن باحثو فريقنا [في جامعة ييل] وغيرهم من اكتشاف أوائل الجينات التي تكود للمستقبِلات. وبمرور الوقت، اكتشفنا 60 جينا لمستقبلات الرائحة في ذبابة الفاكهة. وفتحت معرفة تسلسل كود **الدنا** DNA لهذه الجينات الباب أمام فهم كيفية عمل هذه المستقبلات. وقد وجدنا أيضا أن التركيبة الوراثية للأجهزة الشمية لكل من ذباب الفاكهة والبعوض متشابهة، ومن ثَمَّ فإن دراسة الذبابة من شأنها أن تساعدنا على فهم حاسة الشم لدى البعوض.

جاءت الفكرة الرئيسية من سلالة من ذبابة الفاكهة *دروسوفيلا ميلانوگاستر* ذات طفرة جينية، والتي وصلت إلى مختبرنا بطريق المصادفة. ففي الشهر 2001/11، قدّم أحدنا (<كارلسون>) محاضرة في جامعة برانديس Brandies University القريبة من بوسطن، وكانت المحاضرة عن الجين *Or22a*، وهو أول جين مستقبلات الرائحة في ذبابة الفاكهة قد اكتشفه مختبرنا. وبعد تلك المحاضرة، تقدم أستاذ مساعد في جامعة برانديس إلى المنصة، وقال إنه يمتلك سلالة *دروسوفيلا ميلانوگاستر* ذات طفرة تفتقر إلى هذا الجين الذي يكود لمستقبلات الرائحة. وتساءل عما إذا كانت هذه السلالة ذات فائدة، وهذا الأمر لم يستغرق من <كارلسون> إلا جزءا من الألف من الثانية ليجيبه قائلا: «نعم!» وفي اليوم التالي، قاد <كارلسون> سيارته عبر الطريق السريع رقم 91، مصطحبا قارورة صغيرة تحتوي



آلية تجريبية

أنف طافر يعلم أكثر(*)

تمكّن الباحثون من عزل المستقبلات الكاشفة للرائحة لدى البعوض، التي تستجيب بقوة لرائحة البشر، وذلك باستخدام سلالة ذباب الفاكهة ذات طفرة تحتوي على عيب defect مفيد.

1 يتم زرع جين يكود لإحدى مستقبلات الرائحة لدى البعوض في عصبون شمي لدى ذبابة الفاكهة التي تفتقر إلى المستقبلات الشمّية.

2 يحرّض الجين العصبون على إنتاج المستقبلات المكودة، والتي ترتبط بجزيئات الروائح التي لها شكل معين. يتم إدخال جزيئات الروائح في ذبابة الفاكهة واحدا تلو الآخر؛ فإذا ما ارتبطت المستقبلات بتلك الرائحة، يرسل العصبون إشارة إلى الدماغ تفيد بوجود رائحة، ومن ثم يكشف قطب كهربي هذه الاستجابة للباحثين.

على الذبابة ذات الطفرة إلى مختبرنا بجامعة ييل في نيو هيڤن، كونيتيكت.

كان هدفنا الرئيسي يدور حول تحديد أي المستقبلات تستجيب لأي رائحة. فالعصبون الواحد يمتلك آلاف المستقبلات، لكنها متماثلة؛ ولا يرتبط أي نوع إلا بمجموعة صغيرة من جزيئات الرائحة. وللعصبونات المختلفة أنواع مختلفة من المستقبلات، التي ترتبط بمجموعات أخرى. ولأن ذبابة الفاكهة ذات الطفرة ينقصها جين بعينه خاص بمستقبلات الرائحة، فقد افترضنا أنها تحتوي على نوع من العصبونات «الفارغة» التي تفتقر إلى المستقبلات.

وبالتأكيد كانت كذلك. وبتطبيق تقنيات وراثية متقدمة طُوِّرت لدراسة *دروسوفيلا ميلانوگاستر*، قمنا بإدغام أحد جينات المستقبلات في هذا العصبون، والذي أنتج بعدها جزيئات المستقبلات المكودة. وبالنسبة إلى كل مستقبلة عصبية، كان بوسعنا بعدئذ تحديد الرائحة التي تفعّلها. وعن طريق التوفيق المنهجي بين كل من مستقبلات الرائحة لدى *دروسوفيلا ميلانوگاستر* وبين عصبون فارغ، واحدا تلو الآخر، ومن ثم تعريض العصبون لمجموعة متنوعة من المركبات المُطلِقة للرائحة، تمكنّا من معرفة أي من هذه المواد ولّد استجابة لدى أي من المستقبلات الكثيرة لتلك الحشرة.

وعلى مدى السنوات الثلاث التالية، قامت <E. هالم> [التي كانت وقتها طالبة دراسات عليا في جامعة ييل] بعمل ذلك تحديدا. فوجدت أن المستقبلات الفردية تستجيب لمجموعة محدودة من الروائح، وأن روائح معينة تنشّط مجموعات فرعية بعينها من المستقبلات. وقد لوحظت نتائج مماثلة في الجهاز الشمي للثدييات. ومن ثَمَّ فإن الحيوانات، من ذبابة الفاكهة إلى البشر، تكتشف الروائح بالطريقة نفسها: حيث تعمل الروائح المختلفة على تنشيط توليفات مختلفة من المستقبلات. وتساعد هذه الاستراتيجية على تفسير الكيفية التي تتمكن بها الحيوانات، بما فيها البعوض، من التمييز بين هذا العدد الهائل من الروائح الموجودة في الطبيعة من دون حاجة إلى امتلاك مستقبلات مخصّصة لكل صنف منفرد.

ذبابة تشم مثل بعوضة(**)

بعد أن تعرفنا جينات مستقبلات الرائحة في ذبابة الفاكهة، أردنا تجربة إدغام جينات المستقبلات المأخوذة من البعوض الحامل للملاريا في العصبونات الفارغة لذبابة الفاكهة. وبالتعاون مع <J. L. زويبل> [من جامعة ڤاندربيلت] و<M. H. روبرتسون> [من جامعة إلينوي في أوربانا– شامپين] وزملائهم، تمكّنا من تعرف مجموعة وراثية مكونة من 79 جينا يرجّح أن تكون جينات مستقبلات الرائحة في *الأنوفيل گامبيي* وذلك من خلال البحث عن مكونات الدنا المشابهة لمثيلاتها في جينات مستقبلات

(*) Mutant Nose Knows
(**) A FLY THAT SNIFFS LIKE A MOSQUITO

الرائحة لدى ذبابة الفاكهة. ومن الممكن أن يؤدي زرع أي من هذه الجينات في العصبونات الفارغة لذبابة الفاكهة، نظريا، إلى إنتاج مستقبلات الرائحة الخاصة بالبعوض في ذبابة. ولكن التجربة يمكن أن تفشل بسهولة، إذ يفصل بين هذين النوعين من الحشرات 250 مليون سنة من التطور. فلم تكن لدينا أية فكرة عما إذا كان جين مستقبلات الرائحة الخاص بالبعوض يمكن أن يعمل في عصبون ذبابة الفاكهة.

جرى توصيل نظامنا التجريبي بمكبر للصوت، بحيث إذا انطلقت إشارة من أحد العصبونات الشمية، فإن القطب الكهربائي يستشعرها، ومن ثم يولد مكبّر الصوت سلسلة من النقرات المتقطعة. وعندما اختبرنا سلسلة من الروائح على أول العصبونات الفارغة للذبابة التي تم تزويدها بجين البعوض، ظل مكبّر الصوت صامتا بصورة مخيبة للآمال. حتى ساورتنا الشكوك في أن مستقبل البعوض ربّما لا يعمل في عصبون ذبابة الفاكهة، ولكن ‹هالم› واصلت اختبار العينات. وعندما وصلت إلى مُركَّب يطلَق عليه اسم **4-ميثيل فينول** 4-methylphenol، بدأ مكبر الصوت بالصراخ، ولم يكن حماسنا أقل صخباً. وقد علمنا لاحقا أن 4-ميثيل فينول، الذي تشبه رائحته قليلا رائحة الجوارب الرياضية المستعملة، هو أحد مكونات عَرَق الإنسان. وقد وجدنا وسيلة لمعرفة أية رائحة تستثير رد فعل أي من مستقبلات البعوض، وهي معلومات يمكن أن تساعدنا على فهم الكيفية التي تحدّد بها البعوضة موقع فريستها البشرية، وكيف يمكننا تعطيل تلك العملية.

ومع هذه النتيجة المشجعة في جعبتنا، طفقنا نقرأ حول الروائح البشرية واخترنا 110 مركبات لاختبارها، بما في ذلك العديد من مكونات العَرَق البشري. وقد ضَمَّنا قائمتنا روائح ذات بنى جزيئية مختلفة، مما وسع عيّنة قياسنا. ومن ثم، بدأنا بزرع كل من الجينات المستقبلة لمستقبلات *الأنوفيل گامبيي* التسعة والسبعين، واحدا تلو الآخر، في العصبونات الفارغة. وقد ثبت أن خمسين من جزيئات المستقبلات كانت فعالة ضمن السياق الذي وضعناه. وبعد ذلك، بدأنا باختبار قائمتنا المكونة من 110 روائح مقابل المستقبلات الخمسين الفعالة، مما نتج منه 5500 توليفة للمستقبلات- الروائح. وقد تطلبت عملية أخذ العينات المكثفة النطاق أياما وليالي طوالا.

ومن مجموعة البيانات هذه، تعرّفنا عددا من المستقبلات التي استجابت بقوة لمركب واحد فقط أو لعدد قليل جدا من المركبات. فقد كنا مهتمين بتلك المستقبلات **الضيقة الاستجابة** narrowly tuned. وقد عللنا ذلك في أنه إذا احتاجت بعوضة ما إلى تحديد مركب بعينه، وبدرجة عالية من الحساسية والتخصص – أي المركب الذي يشير إلى مصدر الدم – فإن البعوضة قد تستخدم مستقبلة متخصصة وشديدة الحساسية. وبالفعل، وجدنا أن معظم المستقبلات «الضيقة الاستجابة» تستجيب للمركبات التي هي من مكونات العَرَق البشري. وعلى سبيل المثال، فإن أولى مستقبلات البعوض التي اختبرتها ‹هالِم› في العصبونات الفارغة – وهي المستقبلة التي استجابت بقوة للمركب 4-ميثيل فينول– اتضح أنها «ضيقة الاستجابة». ومن بين 110 مركبات، لم يستثر هذه المستقبلة بالقوة نفسها إلا عدد قليل من المركبات الأخرى. وثمة مستقبلة أخرى كانت ضيقة الاستجابة للمركب **1-أوكتين-3- أول** 1-octen-3-ol، وهو مركب شائع في الروائح البشرية والحيوانية. يجذب هذا المركب بقوة العديد من أنواع البعوض، بما فيها ***كولكس پيپنيس*** *Culex pipiens*، النوع الشائع في الباحات الخلفية للمنازل في الولايات المتحدة، والذي يمكنه أن ينقل **ڤيروس غرب النيل** West Nile virus. وبعض الفخاخ التجارية التي تُباع لجذب البعوض بعيدا عن الناس في الباحات الخلفية للمنازل ينبعث منها المركب 1-أوكتين-3- أول.

تشويش الأعصاب لإيقاف الحشرات(*)

من الممكن أن تعجّل نتائج أبحاثنا تطويرَ منفّرات وفخاخ أفضل للبعوض. ومن بين الطرق القياسية لاختبار الفخاخ طريقة يتم فيها وضع مواد في الفخاخ الحقلية لمعرفة ما إذا كانت تجذب البعوض. وكون هذه العملية تتسم بالبطء، فلا يمكن اختبار سوى عدد محدود من المواد الكيميائية. كما أن التجارب المختبرية الكلاسيكية لها عيوبها أيضا. وفي كثير من الحالات، يسمح المتطوعون من البشر بطلاء إحدى الذراعين بمركب ما، وبعد ذلك يدخلون هذه الذراع في صندوق يحتوي على عشرات البعوض. أما المواد الكيميائية التي تنفر منها الحشرات فيمكن استخدامها لاحقا باعتبارها منفّرات. وفي المقاربة التي انتهجناها، يمكننا إجراء اختبار سريع لعدد أكبر بكثير من المواد الكيميائية، مما يجعل اكتشاف مواد جديدة وفعالة لاجتذاب أو تنفير البعوض أقرب احتمالا بكثير – ومن دون الحاجة إلى متطوعين من البشر.

فعلى سبيل المثال، يستخدم ‹زويبل› مستقبلات الرائحة

(*) JAM THE NERVES, STOP THE INSECTS

التتمة في الصفحة 59

ثوانٍ قبل الزلزال الكبير(*)

يمكن أن تطلق نظم كشف الزلازل إنذارا قبل لحظات من وقوع زلزال كبير، وهو وقت كافٍ لإنقاذ الأرواح.

<R. آلن>

تُعدُّ الزلازل فريدة من نوعها في قائمة الكوارث الطبيعية، من حيث كونها لا تصدر تحذيرا على الإطلاق قبل وقوعها. لنأخذ مثلا حالة زلزال «لوما بريتا» الذي ضرب منطقة خليج سان فرانسيسكو في 1989/10/17، تماما في الوقت الذي كانت تُجرى فيه الاستعدادات لمباراة بطولة العالم المسائية بين فريقي سان فرانسيسكو جيانتس وأوكلاند آيس. ففي تمام الساعة 5:04 من بعد الظهر هزّ انزلاق مفاجئ لصدع سان أندرياس المنطقة بقوة كانت كافية لانهيار ما يقارب 1.5 ميل من الطريق السريع المؤلف من طابقين وأجزاء من جسر باي بريدج الذي يربط أوكلاند بسان فرانسيسكو. لقد أدّى ذلك إلى مقتل أكثر من 60 شخصا.

وعلى مر السنين، حاول العلماء العثور على جزء من إشارة محدّدة - إشارة منذرة حتى ولو كانت ضعيفة - تسمح للمتنبئين بحدوث الزلازل بأن يحددوا وبدقة أين ومتى ستحدث الزلازل الكبرى، مما يبعد الناس عن الأذى. وبعد عقود في البحث مضت عبثا يشكك الكثير من علماء الزلازل الآن في وجود مثل هذه الإشارة.

ومع ذلك لم يفقد كل الأمل بعد. ففي غضون ثوان

(*) SECONDS BEFORE THE BIG ONE

مـن حدوث الحـركات الخفيفـة الأولى للزلزال، يسـتطيع العلماء اليوم بقليل من التيقنِ التنبؤَ بمدى قوة وانتشار الهـزة القادمـة. ومن خلال دمج العلـم الجديد في تقانات الاتصـالات الحديثة يمكن للسـلطات الحصول على بضع عشرات من ثواني التحذير. وربما تصل إلى نصف دقيقة، لتحذيـر النـاس في منطقة الضرر. قد لا يبـدو ذلك كافيا، ولكنـه مـع ذلك، يكفي لإرسـال تحذيرات لإغـلاق محطات توليـد الطاقة وشـبكات السـكك الحديديـة، وفتح أبواب المصاعد تلقائيا ووضع رجال الإطفاء في حالة تأهب.

لقـد وقـع زلـزال لومـا بريتا إلـى الجنوب مـن خليج «سـان فرانسيسكو» في جبال سـانتا كروز الوعرة. وبعد أن بـدأت الأرض بالاهتزاز، اسـتغرق انتقـال الاهتزازات المدمـرة أكثـر من 30 ثانية لقطع مسـافة 60 ميلا للوصول إلى سان فرانسيسكو وأوكلاند، الأمكنة التي شهدت أكثر مـن 80% مـن الضحايا. ولـو كان نظام الإنـذار المبكر من الزلـزال موجودا آنذاك لأمكـن توفير زمن تحذير قد يصل إلـى 20 ثانية قبل وصول الزلـزال إلـى قلب المنطقة. وهذا وقت كاف لإبطاء وإيقاف القطارات وإصدار أوامر تحويل مسـار الطائرات عنـد اقترابها النهائـي وتحويل أضواء إشـارات مرور الشـوارع إلى اللون الأحمر لمنع السيارات من دخول المناطق الخطرة مثل الجسـور والأنفاق، ويكون بإمـكان العاملين في بيئـات العمل الخطـرة الانتقال إلى مناطق آمنة، ويمكن وضـع الأجهزة الحسـاسة في وضعية الانتظار لتخفيف الأضرار والخسـائر. كما يتمكن تلاميذ المدارس والعاملون في المكاتب الاختباء تحت مكاتبهم قبل وصـول الهزة. وهكذا سـتكون المنطقة مسـتعدة للصمود أمام الأذى القادم.

ومثل هذه الشـبكات تنتشـر فـي جميع أنحـاء العالم



المؤلف

Richard Allen

أستاذ الجيوفيزياء ومدير مساعد لمختبر علم الزلازل بجامعة كاليفورنيا - بيركلي، يقوم حاليا باختبار نموذج لنظام إنذار مبكر من الزلازل يمكن نشره في كل أنحاء كاليفورنيا.

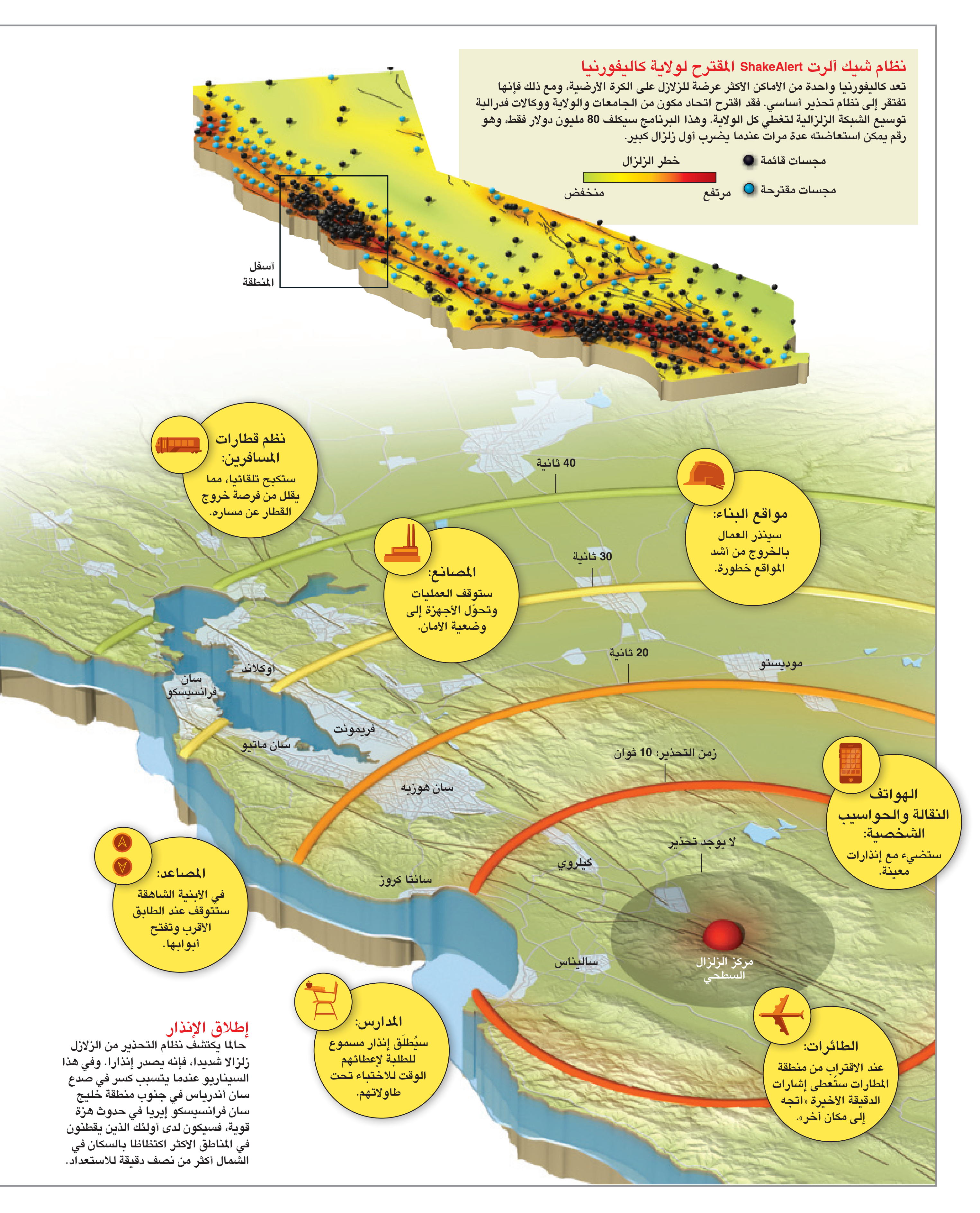
باختصار

تكشـف شـبكات التحذيـر المبكر مـن الـزلازل المراحل الأبكـر لزلزال ما وتُطلق إنذارا لتحذير الناس من الخطـر. ويمكن أن توفـر الإنذارات عشرات الثواني من زمن التحذير.

تعتمـد معظـم هـذه النظـم على حقيقـة أنّ زلـزالا مـا يحـدث علـى مرحلتـين: صدمـة مفاجئة سـريعة الحركة، وموجة بحركة أبطأ تسبب الجزء الأكبر من الدمار.

ويمكن أن تحدّد شـبكة مقاييس الـزلازل بسـرعة مركـز الزلـزال وتُحسّـن التنبـؤات المتعلقة بشـدة الزلـزال وتقلل من حـدوث إنذارات زائفة.

ومثل هذه الشبكات موجودة بالفعل في عدد من البلدان حول العالم. ويمكن أن يحمي النظـام المقترح لكاليفورنيا الأفراد والمؤسسـات التجاريـة عبـر ولاية گولدن ستيت.



إطلاق الإنذار

حالما يكتشف نظام التحذير من الزلازل زلزالا شديدا، فإنه يصدر إنذارا. وفي هذا السيناريو عندما يتسبب كسر في صدع سان أندرياس في جنوب منطقة خليج سان فرانسيسكو إيريا في حدوث هزة قوية، فسيكون لدى أولئك الذين يقطنون في المناطق الأكثر اكتظاظا بالسكان في الشمال أكثر من نصف دقيقة للاستعداد.

في مواقع مختلفة مثل المكسيك وتايوان وتركيا ورومانيا. ويعد النظام الياباني من بين النظم الأكثر تقدما، حيث تصدر الشبكة الوطنية تحذيراتها عبر معظم محطات الإذاعة والتلفزيون، وعدّة شركات للهاتف الخلوي، وكذا نظام مخاطبة الجمهور في المراكز التجارية والأماكن العامة الأخرى. ومنذ تفعيل هذا النظام قبل ثلاث سنوات ونصف السنة، تم بالفعل إرسال الإنذارات على نطاق واسع لأكثر من اثني عشر زلزالا. فقد كان لدى الناس في المصانع والمدارس والقطارات والسيارات بضع لحظات ثمينة للاستعداد؛ وبالالتزام بالإنذارات لم ترد أي تقارير عن وقوع حالات الهلع أو حوادث على الطرق السريعة. وتعدّ الولايات المتحدة الأمريكية متخلفة عن بقية العالم في هذا المجال، إلا أن تطبيقا تجريبيا جديدا وواسع المدى في كاليفورنيا من شأنه أن يفضي سريعا إلى نظام إنذار واسع النطاق في تلك الولاية التي تقع فوق خط الصدع.

ومنذ زمن طويل وكاليفورنيا تتوقع الزلزال الكبير المقبل فإذا ما أنشأنا فيها الآن نظاما للإنذار فسيمكننا إنقاذ الأرواح.

من موجات الاهتزاز إلى التحذيرات(**)

إن الأرض الواقعة تحت أقدامنا تتحرك. ومع انحراف الصفائح التكتونية على سطح الأرض تحتك قطع القارات الواحدة مع الأخرى وتتصادم مثل تصادم السيارات في حوادث الطرق السريعة. كما أن القشرة الأرضية - الطبقة الخارجية من الصفائح التي نعيش عليها - مرنة، ولكن فقط إلى حد معين. عند حدود التقاء هذه الصفائح تنحني قشرة الأرض إلى أن يغدو الضغط أكبر من التحمّل، وعندما تنفلق تحت الضغط تتحرر الطاقة الكامنة المخزنة على مدى العقود الماضية عبر سطح الأرض مزلزلة كل شيء في طريقها.

تحدث المئات من الزلازل كل يوم. ولحسن الحظ، فإن معظمها صغير لدرجة أننا لا نعرف شيئا عن هذه الزلازل دون مساعدة أجهزة قياس الزلازل الحساسة. ففي الزلازل اليومية ينزلق مستوى الصدع نحو 3-6 أقدام فقط؛ ولا يمكن للبشر أن يشعروا بهذه الاهتزازات. أمّا في الزلازل التي يكون قدْرها 5.0 درجات فإنّ مستوى الصدع يتحرك نحو ميل أو اثنين؛ ويشعر الناس بسهولة بهذه الحركة، إلا أنّ المباني الحديثة يمكن أن تصمد أمام مثل هذه الزلازل.

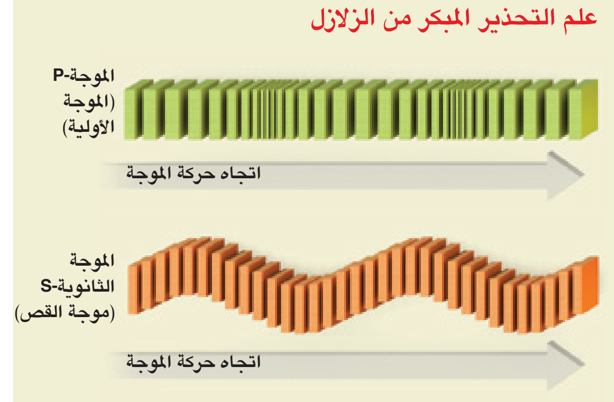
(*) Ready To Rumble
(**) FROM WAVES TO WARNINGS

كيف يعمل النظام

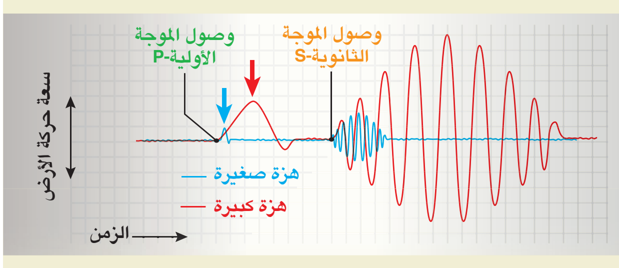
الاستعداد لإطلاق الإنذار(*)

تكشف نظم التحذير المبكر من الزلازل عن الاهتزازات الأولى لزلزال كبير، فتطلق نظم الإنذار في وقت يسبق الاهتزاز الأعنف. وسيستخدم نظام الإنذار «شيك آلرت» ShakeAlert المقترح لولاية كاليفورنيا شبكة من مقاييس الزلازل الرقمية تُنشَر حول الولاية (*في الأعلى إلى اليمين*) لإعطاء المناطق المأهولة ما قد يصل إلى دقيقة من الزمن من التحذير المسبق قبل الزلازل. (وذلك بالاعتماد على موقع مركز الزلزال). وهذه الإنذارات ستمنح المؤسسات التجارية والمقيمين والهيئات العمومية وقتا للتأهب (*في الأسفل إلى اليمين*).

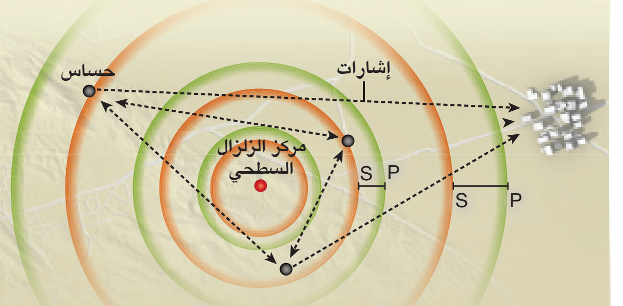
علم التحذير المبكر من الزلازل



تتكون جميع الزلازل من نوعين من الموجات: موجة أولية-P وتنتقل بضغط الأرض في أثناء انتقالها، أي مثل انتقال الموجة الصوتية وهي تتحرك بسرعة ولكنها لا تسبب الكثير من الدمار، أمّا الموجة الثانوية-S التي تعقبها فإن الصخور تدفعها نحو الأعلى ونحو الأسفل مثل موجة البحر وهي تُطلق معظم طاقة الاهتزاز العنيف.



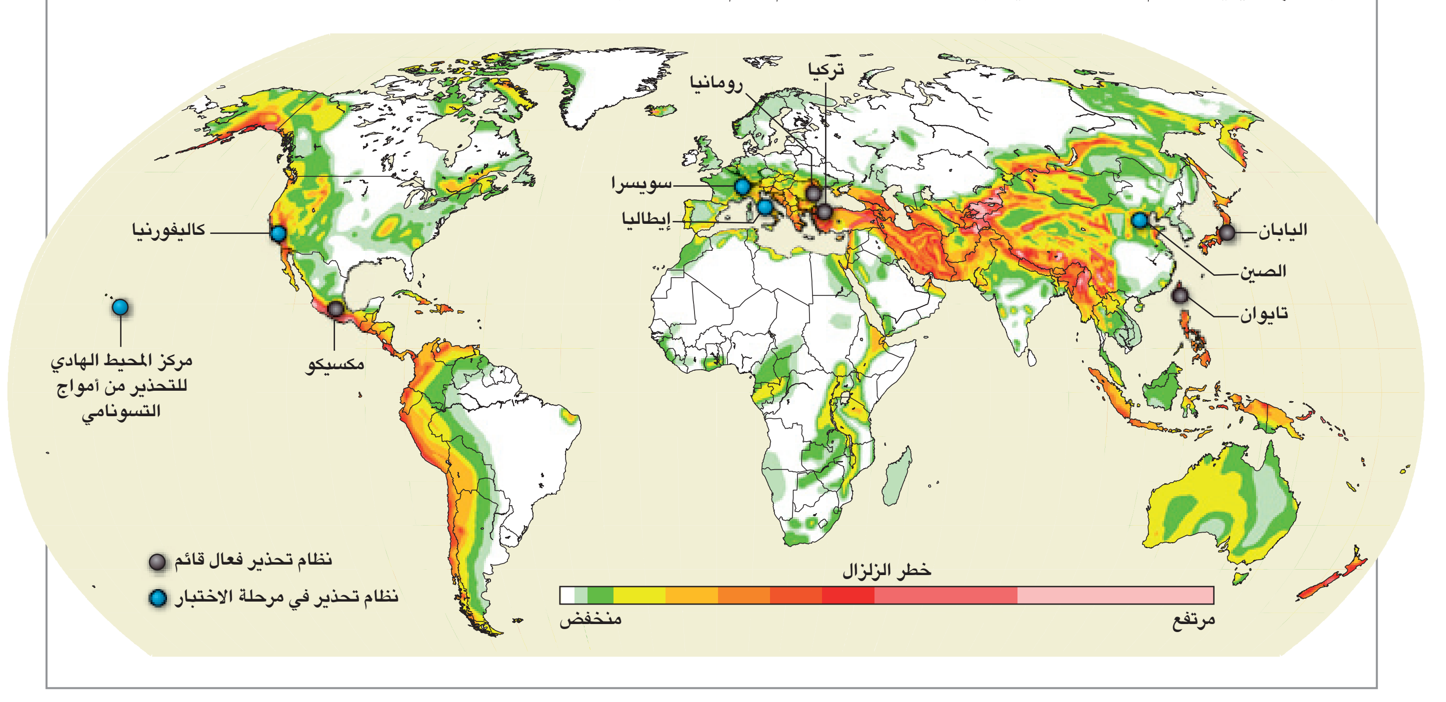
تحدث المئات من الزلازل الصغيرة كل يوم، وتقوم نظم التحذير من الزلازل بتحديد الزلازل الشديدة عن طريق فحص شكل الموجة الأولية-P. يكون للاهتزازات الضعيفة (السهم (واللون) الأزرق) نبضة حادة وقصيرة، بينما تُظهر الاهتزازات الشديدة (السهم (واللون) الأحمر) على شكل هزة ذات سعة عالية وتردد منخفض.



تجمع نظم التحذير من الزلازل الإشارات من شبكة المحطات الزلزالية لتقارن بين الهزات الكبيرة وتحدّد مراكزها. وبعد ذلك يرسل النظام إنذارا إلكترونيا مبكرا قبل وصول الموجة-S. وبقدر ما تكتشف محطات إضافية للاهتزازات، تصبح التنبؤات بحجم الزلازل ومراكزها أكثر دقة.

تحذيرات في جميع أنحاء العالم(*)

يوجد حاليا في العالم خمسة نظم للإنذار المبكر من الزلازل، يتناسب كل منها مع تضاريس معينة في البلد الذي يقع فيه. في المكسيك، تكشف أجهزة الاستشعار المقامة على ساحل المحيط الهادي الهزات التي تبدأ بمنطقة الانغراز subduction البحرية وتُطلق إنذارات في مدينة مكسيكو سيتي، وهي مدينة كبيرة يقطنها نحو عشرين مليون نسمة ومبنية على رواسب غرينية تُضخّم الهزات الأرضية. وبشكل مماثل، فقد صُمم نظام رومانيا ليوفّر للعاصمة بوخارست تحذيرا مبكرا من الزلازل التي تنطلق في جنوب شرقي جبال الكارابات على بعد مئة ميل. وفي المقابل، فإن اليابان بكاملها معرضة للزلازل، فبعد حدوث زلزال كوبي عام 1995 والذي تسبب بقتل أكثر من 6000 شخص، قامت الدولة بتركيب أكثر من 2000 محطة زلزالية لتغطية كافة أرجاء البلاد، وهو الآن نظام الإنذار الأكثر تقدما في العالم.



أمّا في الزلازل التي قدرها 8.0 درجات فإنّ الحركة تنتقل مئات الأميال عبر مستوي الصدع، ويمكن أن تمتد إلى سطح الأرض وقد تشطر بناء ما إلى نصفين.

ومن خلال مراقبة تعاظم الإجهادات في الفترات ما بين الزلازل، يدرك علماء الزلازل بأن العديد من مناطق القشرة الأرضية على وشك الانهيار. إلا أن للبنية التفصيلية للصدوع العميقة تحت السطح أيضا دورا مهما في تشكيل كل من التشققات الزلزالية وانتشارها - وهي بنية لا يمكن **اعتيانها** sampled مباشرة. ولهذا السبب يعتقد معظم علماء الزلازل أنه لا يمكن إنشاء نظام استشعار قادر على التنبؤ بحدوث زلزال كبير قبل ساعات أو أيام من وقوعه. إن أفضل ما يمكن أن يفعله المرء في المستقبل المنظور يتمثل بالكشف بسرعة عن حدوث زلزال كبير وإطلاق الإنذار.

وتساعد بعض الخصائص الفريدة للزلازل على هذه المهمة. إن ما نراه كهزة متصلة، تصل إلينا في الواقع على مراحل. فتنتقل الطاقة الناجمة عن صدع في القشرة الأرضية عبر الأرض على شكلين: الموجات الأولية-P والموجات الثانوية-S [*انظر المؤطر في الصفحة 55*]. يغادر كلا النوعين من الموجات سطح الصدع في الوقت نفسه وهناك ينتهي وجه الشبه بينهما. فالموجات-P تشبه الموجات الصوتية وهي عبارة عن موجات انضغاط تنتقل بسرعة نسبيا لكنها لا تحمل الكثير من الطاقة. إنك تشعر بالموجات-P أثناء الزلزال كرطمة عمودية مفاجئة. أمّا الموجات-S فتكون أكثر شبها بأمواج البحر، وهي ناقلات بطيئة تحتوي على معظم الطاقة وتحمل معها الهزات الأقوى. وتكون حركة الأرض أفقية وعمودية، ويمكن لهذه الموجات أن تطيح بمبان بأكملها كما لو أنها طوّافات صغيرة وسط الأمواج.

إضافة إلى ذلك، ليست جميع الموجات متشابهة، فهي تتخذ أشكالا مختلفة اعتمادا على مساحة رقعة الانزلاق. فتتميز **الموجة-P**[1] المنتشرة في رقاع انزلاق صغيرة بسعة منخفضة نسبيا وتردد عالٍ - فهي نبضة صغيرة ولكنها حادة. أمّا الزلازل الأكبر فتفلق مساحات أوسع من الصدع وتؤدي إلى مزيد من الانزلاق، وهكذا فإنّ الموجة الأولية-P

(*) Worldwide Warnings
(1) p-wave

ستكون ذات سعة أعلى وتردّد أخفض، والأمر يشبه الفرق بين زقزقة الطائر الصغير وزئير الدب الرمادي.

ويمكن لمقياس زلازل واحد أن يستنتج قدْر الزلزال بالاعتماد على هذه المعلومات فقط. وستطلق أي موجة أولية-P ذات سعة عالية وتردد منخفض إنذارا. ومقاربة المحطة الواحدة هذه هي الوسيلة الأسرع لتحذير المناطق المجاورة لمركز الزلزال. ومع ذلك تتباين طبيعة التصدعات الزلزالية – إذ لا تتشابه كل الزلازل من الدرجة 5.0 – كما أن نوعية الطبقات الرسوبية تحت مقياس الزلازل تحوّر الموجة الأولية-P. وهذا التباين يزيد من احتمال حدوث كل من الإنذارات الزائفة – تحذيرات عندما لا تكون هناك زلازل – والإنذارات التي لا تُستشعر حتى عندما يكون الزلزال المدمر في طريقه إلينا.

نتيجة للتحذير، تمكنت السلطات من وقف القطارات الكهربائية تحت الأرض «المترو» قبل خمسين ثانية من وصول الهزة، وإخلاء المدارس وفق ما كان مخططا.

ولتخفيض احتمال حدوث الإنذارات الزائفة وغير المُستشعر بها على حد سواء يمكننا دمج البيانات المسجلة في العديد من أجهزة قياس الزلازل الموزعة بحيث تفصلها عن بعضها مسافة بضعة أميال. ففي مثل هذا التوزيع، ستكون الطبقات الرسوبية تحت كل مقياس مختلفة ومن ثَمَّ نتمكن من الحصول على تقدير متوسط لحجم الزلزال. تتطلب هذه المقاربة شبكات رصد زلزالية لنقل بيانات أجهزة القياس إلى موقع مركزي للتكامل فيما بينها. ولكن يستغرق نقل البيانات وتحليلها ثواني قليلة، وفي كل ثانية تمر تنتقل خلالها الموجة الثانوية-S المدمرة من ميلين إلى ثلاثة أميال أخرى.

وهكذا، فإن أفضل مقاربة هي إذن ضمّ مقاربة المحطة الواحدة وتلك المعتمدة على الشبكة، وهذا يوفّر إمكانية إطلاق جميع التحذيرات السريعة في المنطقة القريبة من مركز الزلزال والتحذيرات بعشرات الثواني التي تستبق وصول الزلزال إلى المواقع الأبعد.

ويتعين على أي نظام المفاضلة بين صحة المعلومات ووقت التحذير المتاح. ومع تزايد البيانات التي تجمعها الشبكة الزلزالية، فسوف تتحسن التنبؤات، ولكن سيتناقص الوقت المتوافر قبل حصول الهزة. وقد يقبل بعض المستخدمين بحدوث إنذارات زائفة أو غير مُستشعرة في مقابل توفير وقت أكبر للتحذير. فعلى سبيل المثال قد تفضّل المدارس الحصول على تحذير أبكر لكي يتمكن الأطفال من اللجوء إلى أماكن آمنة. وقد توفر بعض الإنذارات الزائفة سنويا التدريبات المنتظمة والضرورية حتى يتعلم الجميع ما يجب القيام به. أمّا محطات الطاقة النووية فتتطلب، في المقابل، ثانية واحدة فقط لإغلاق المفاعل – ولكن لهذا العمل تكلفة باهظة. ولذلك سيرغب مشغلو هذه المحطات في الانتظار حتى التيقن من حدوث هزة شديدة.

إنذارات قريبة وبعيدة(*)

لقد توفرت نظم التحذير العامة من الزلازل على مدى عقود بشكل أو بآخر. فقد بنى المهندسون اليابانيون في الستينات من القرن الماضي مقاييس الزلازل في مسارات قطارات شينكانسن الجديدة الفائقة السرعة، بحيث إن أي اهتزاز مفرط سيطلق إنذارا يمنح السائق فرصة لإبطاء القطار. وفيما بعد، صمَّمَ العلماء نُظما من شأنها استخدام مقاييس الزلازل من بُعد لبثّ التحذيرات المسبقة عن الهزات الأعنف. فقد صُممت شبكة المكسيك للكشف عن الزلازل بالقرب من الساحل ولِبَثِّ التحذيرات إلى مدينة مكسيكو سيتي، وهي مدينة قديمة يقطنها أكثر من عشرين مليون نسمة ومبنية على قيعان بحيرات ذات رواسب غرينية تزيد قدر الموجات الزلزالية. ويمكن أن توفر المسافة بين الساحل والمدينة أكثر من ستين ثانية للتحذير.

في عام 1993، أُعيد تشغيل نظام المكسيك، وبعد عامين خضع لأول اختبار جدي له. ففي 1995/10/9 ضرب زلزال قدره 8.0 درجات قبالة ساحل مانزانيلو. التقط نظام التحذير الهزة، وبثّ الإنذارات على محطات تلفزيونية وإذاعية في مدينة مكسيكو سيتي وكذلك عن طريق نظام إنذار عبر بث إذاعي مخصص مماثل لمحطة بث نشرة الطقس في الولايات المتحدة. ونتيجة لهذا التحذير تمكنت السلطات من وقف نظام المترو قبل خمسين ثانية من وصول الهزة، وأُخليت المدارس وفق ما كان مخططا.

يعتمد نظام اليابان، الذي طُبّق في عام 2007، على الاستخدام المكثف للتقانة الشخصية، بحيث لا تبث

(*) ALERTS NEAR AND FAR

الإنذارات فقط إلى التلفزيون والراديو فحسب وإنما أيضا من خلال أجهزة الاستقبال الخاصة في المنازل والمكاتب والمدارس. فتُبيّن النوافذ التي تظهر فجأة على شاشة الحاسوب خريطة لموقع مركز الزلزال وانتشار الموجات الزلزالية. ويبدأ مؤقت بالعد التنازلي لوصول الزلزال إلى موقعك ويشير إلى شدته المتوقعة. كما سيقوم مزودو خدمات الهاتف الخلوي بإرسال رسائل تحذيرية لجميع الهواتف مترافقة مع إنذار صوتي معين. أما الصناعات الحيوية، مثل محطات الطاقة النووية، وشبكات السكك الحديدية والمطارات ومنشآت تصنيع المواد الخطرة فتستخدم نظم اتصالات مخصصة لهذا الغرض ومتكيفة مع حاجاتها.

تبين التجربة اليابانية أنّ نظم التحذير من الزلزال لا تساعد على حماية الأرواح فحسب، بل تساعد أيضا على إنقاص الخسائر النهائية. ففي عام 2003 سبّب زلزالان قرب سينداي في اليابان خسائر بأكثر من 15 مليون دولار لمصنع OKI لتصنيع **أشباه الموصلات** semiconductor بسبب الحرائق والضرر الذي لحق بالمعدات ونقص الإنتاج. وكان على المصنع أن يتوقف عن العمل لفترات تتراوح بين 17 و 13 يوما على التوالي بعد الهزات الأرضية. أنفقت الشركة حينئذ مبلغ 600 000 دولار لتحديث المصنع وتركيب نظام تحذير من الزلازل. ومنذ ذلك الحين، تكبدت الشركة في زلزالين مماثلين خسائر بنحو 200 000 دولار وتوقف عن العمل لمدة 4.5 و 3.5 يوم فقط.

لعنة ولاية كاليفورنيا

تعد كاليفورنيا بلد الزلازل. ففي عام 2006 تضافرت قوى مجموعة من الجامعات والهيئات الفدرالية والحكومية لتطوير نظام شيك آلرت ShakeAlert، وهو نظام تحذير من الزلازل تابع للولاية. حاليا يربط نظام مبدئي ما يقرب من 400 محطة لرصد الزلازل معا، وسوف تقوم قريبا بإرسال الإنذارات إلى مجموعة اختبار صغيرة من المستفيدين. سيوفر النظام المنجز ليس فقط الإنذارات الفورية المعتمدة على المحطة الواحدة لأولئك الذين هم بالقرب من مركز الزلزال ولكن سيوفر أيضا الإنذارات الواسعة النطاق المعتمدة على الشبكة لأولئك الذين يكونون على مسافة أبعد. وإذا سارت الأمور على ما يرام فستصدر الإنذارات في غضون خمس ثوان بعد أول ضربة لموجة الزلزال الأولية-P.

حتى الآن، ما زال الطريق طويلا أمام ولاية كاليفورنيا قبل أن تتم تغطيتها بشبكة شاملة مثل شبكة اليابان. إذ تتمركز محطات الزلازل الأربعمئة القائمة حول مناطق خليج سان فرانسيسكو ومدينة لوس أنجلوس تاركة الفراغات ما بينها [*انظر المؤطّر في الصفحة 54*]. ومع أنّ معظم سكان كاليفورنيا يعيشون بالقرب من هاتين المنطقتين فإنّ هذه الفراغات تبطئ فاعلية النظام وتقلل من دقته، إذ سيستغرق اكتشاف موجات الزلزال الأولية-P في مواقع متعددة وقتا أطول. ففي اليابان تتوزع الأجهزة على بعد 15 ميلا من بعضها البعض في جميع أنحاء البلاد. وهذا المستوى من التباعد في ولاية كاليفورنيا سيوفّر أفضل أداء للنظام مع عدد أقل من الإنذارات الزائفة وغير المستشعر بها ومزيدا من الوقت للتحذير من الزلازل.

وتلك الإنذارات، مثل إنذارات اليابان، ستفعّل الاستفادة من أدوات شبكات الاتصالات التي يقتنيها معظم الناس كل يوم. فسيستقبل الأفراد الإنذار على هواتفهم النقالة مشيراإلى شدة الهزة المتوقعة، وإلى العد التنازلي حتى بدء الهزة، وربما إلى تعليمة بسيطة مثل «اختبئ تحت الطاولة» أو «انتقل إلى منطقة آمنة». وعلى الأرجح سترغب المنظمات الأكبر، ذات البنى التحتية الواسعة الانتشار عبر الإقليم، في الحصول على معلومات أكثر تفصيلا مثل الحصول على خارطة بالوقت الحقيقي لتقدم موجة الزلزال وانتشار اهتزاز الأرض في المنطقة المتأثرة.

لا يتطلب إنشاء نظام كهذا سوى استثمارات متواضعة مقارنة بالأخطار المحتملة لزلزال كبير، فهو يتطلب وجود 100 محطة قياس زلزالية جديدة وتحديثا للبنية التحتية القائمة بتكلفة إجمالية تقدر بنحو 80 مليون دولار. وهذا النظام سوف يقلع ويعمل في غضون خمس سنوات، وفي ست سنوات سوف نكون ممتنين جدا لهذا النظام. ■

(*) THE CALIFORNIA CURSE

مراجع للاستزادة

New Methods and Applications of Earthquake Early Warning. Edited by R. M. Allen, O. Kamigaichi and P. Gasparini. *Geophysical Research Letters*, Vol. 36, No. 5; 2009.

Earthquake Early Warning. Edited by Richard M. Allen, Paolo Gasparini and Osamu Kamigaichi. *Seismological Research Letters*, Vol. 80, No. 5; September/October 2009.

The Status of Earthquake Early Warning around the World: An Introductory Overview. Richard M. Allen et al. in *Seismological Research Letters*, Vol. 80, No. 5, pages 682–693; September/October 2009.

California Integrated Seismic Network: www.cisn.org

Scientific American, April 2011

تتمة الصفحة 51 (رائحة إنسان)

الخاصة بالأنوفيل گامبيي المزروعة في خلايا موجودة في أطباق مختبرية صغيرة. تقوم **إنسالات**[1] robots بتعريض الخلايا لآلاف المركبات في غضون بضع ساعات. وحتى الآن، تمكن <زويبل> من فحص أكثر من 200 000 مركب، تسبب أكثر من 400 منها تنشيط أو تثبيط مستقبلات الرائحة. وسيتم تحليل هذه المركبات بتعمق أكبر في التجارب المستقبلية، ومن ثم سيتم دفع أفضلها إلى مرحلة التجارب الميدانية.

هذه المقاربة المختبرية سمحت لنا أيضا بتحري المركبات التي تعمل **كمنشطات فائقة** superactivators – تلك التي تُشوش العصبونات الشمية عن طريق الإفراط في استثارتها إلى درجة تتوقف عندها قدرتها على إرسال الإشارات أو تربك دماغ البعوضة. ويمكن إطلاق المركبات **المُربكة** confusant بالقرب من الأكواخ التي ينام فيها القرويون في بلدان إفريقيا جنوبي الصحراء الكبرى، مما يمنع البعوض الحامل للملاريا من العثور على أولئك السكان. ويمكن أيضا للتحري المختبري تحديد المركبات التي تثبّط المستقبلات «الضيقة الاستجابة»، مما يعوق قدرة الحشرة على استشعار هدفها. وبدورها، فمن الممكن إطلاق **عوامل الإخفاء** masking agents هذه في الأكواخ، أو استخدامها في المواد المنفّرة المستخدمة على الجلد، لمنع البعوض من إدراك أنها قريبة من مصدر للدم. ومن الممكن أيضا التعامل مع المركبات التي يجدها البعوض كريهة باعتبارها مواد منفّرة. هذا ويقوم الباحثون المتعاونون معنا بجامعة فاگينينگن في هولندا بالتجريب على بعوض *الأنوفيل گامبيي* لتحديد ما إذا كان مزيج من بعض المركبات التي تعرّفناها مفيدا بهذه الطرق. وقد اكتشف زملاؤنا بالفعل بعض التوليفات القوية.

تاريخيا، يسبّب العديد من طرق مكافحة الحشرات، مثل الرش الواسع النطاق للمبيد الحشري DDT، في إلحاق الأذى بالحيوانات، وربما بالبشر. في حين يمكن أن تكون طرق المكافحة القائمة على حاسة الشم أقل ضررا منها بكثير. فالفخ الشمي لا يتطلب سوى كمية صغيرة من المادة **الجاذبة** attractant؛ لأن البعوض حساس للغاية لتلك المواد. إضافة إلى ذلك، فإن المركبات الجاذبة التي توجد عادة في عَرَق ونَفَس البشر تكون غير سامة في الجرعات المنخفضة. وإذا استخدمت السموم أيضا في هذه الفخاخ، فستكون محصورة بدلا من نشرها على نطاق واسع. وإضافة إلى ذلك، تكون مكافحة الحشرات المستندة إلى حاسة الشم أكثر دقة، بكثير، من تلك المرتكزة على المبيدات الحشرية. وقد أظهرت المقارنة بين البيانات المتوفرة لدينا عن البعوض وذباب الفاكهة أن معظم مستقبلات *الأنوفيل گامبيي* «الضيقة الاستجابة» تستجيب لمركبات توجد في العَرَق البشري، في حين أن المستقبلات الضيقة الاستجابة في *الدروسوفيلا ميلانوگاستر* تستجيب للمركبات المتطايرة المنبعثة من الفواكه. ويمكن اختيار أمزجة من المواد الجاذبة التي تجتذب الحشرة المستهدفة بالذات، ومن ثم تترك أثرا أخف بكثير في البيئة. وبصفة عامة، فإن مكافحة الحشرات القائمة على حاسة الشم تعد أقل ضررا بكثير في العالم الطبيعي، وأكثر قبولا من الرش العام للسموم. وإذا كان بالإمكان استخدام مزيج من المركبات الفعالة بدلا من مركب واحد، فمن الأقل احتمالا أن تنشأ مقاومة ضدها في مجتمع البعوض.

ومن أجل أن تكون العوامل التي اكتشفتها تجاربنا مفيدة في الدول التي تعاني الفقر، فيجب أن تتوافر في صورة عبوات رخيصة الثمن. تتسم الفخاخ التي ينبعث منها ثاني أكسيد الكربون من عبوات الغاز المضغوط – والمستخدمة على نطاق واسع في البلدان الغنية – بكونها غير عملية في المناطق الريفية من العالم النامي. ويجب أيضا أن تكون المركبات الجاذبة والمنفّرة مستقرة كيميائيا في الحرارة الاستوائية اللافحة. ومازلنا بانتظار ما إذا كان بالإمكان تحقيق هذه المتطلبات.

هناك حاجة إلى مقاربة متعددة الأوجه للقضاء على الملاريا. وستؤدي الناموسيات والعقاقير المحسّنة فيها دورا رئيسيا. ومن جانبهم، يعكف الباحثون بثبات على تطوير لقاح فعال للمرض. ومع ذلك، فإن هناك حاجة مُلحة إلى أدوات إضافية ضمن ترسانة الأسلحة المضادة للملاريا. وعلى وجه التحديد، فمن الممكن أن يمثل التلاعب بالسلوكيات الموجّهة بحاسة الشم لدى البعوض خطوة كبيرة في هذا الطريق. وفي معرض الصراع ضد مرض يؤثر في مئات الملايين من البشر كل عام، يمكن حتى لمساهمة صغيرة أن تُحدث فرقا كبيرا في حياة الكثيرين. ■

(1) **إنسالات** robots: جمع إنسالة، وهي نحت من إنسان-آلة.

مراجع للاستزادة

Olfactory Regulation of Mosquito-Host Interactions. Lawrence J. Zwiebel and W. Takken in *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 34, No. 7, pages 645-652; July 2004.

Insects as Chemosensors of Humans and Crops. Wynand van der Goes van Naters and John R. Carlson in *Nature*, Vol. 444, pages 302-307; November 16, 2006.

Odorant Reception in the Malaria Mosquito *Anopheles gambiae*. Allison F. Carey et al. in *Nature*, Vol. 464, pages 66-71; March 4, 2010.

World Health Organization malaria page: www.who.int/topics/malaria/en

Scientific American, July 2011

تطور العين[*]

صار لدى العلماء الآن تصور واضح حول كيف تطورت عيوننا البالغة التعقيد.

<T .D. لامب>

عينُ الإنســـان عضو بالغ التعقيد. فهو يعمل مثل كاميرا تجمع الضوء وتركّزه وتحوّله إلى إشـــارة كهربائية يترجمها الدماغ إلى صور. ولكن بدلا من فيلم التصوير فإن العين تحوي شـبكية عالية التخصص تحسّ بالضوء وتعالج الإشـــارات باستخدام عشرات الأنواع المختلفة من العصبونات. ونتيجة لهذا التعقيد، بقي منشأ العين لفترة طويلة من أشهر الحجج المفضلة لأنصار نظريتي **الخلـق والتصميم الذكي**[1] الذين يعتبرونه مثالا رئيسـا على ما يسـمونه بالتعقيد غير القابل للاختـزال، أي النظام الذي لا يمكـن أن يعمل في غياب أي مكـون من مكوناته، ومن ثمّ لا يمكن أن يكون قد تطور طبيعيا من شـكل أكثر بدائية. وفعلا، حتى <تشارلز داروين> نفسه اعترف في ***أصل الأنواع***[2] – الكتاب الصادر في سنة 1859 الذي فصّل فيه نظريته في التطور بالانتقاء الطبيعي – أنه قد يبـدو من غير المعقول التفكير فـي أن العين تطورت بالانتقاء الطبيعـي. ولكن <داروين> كان يعتقد قطعيا أن العين تطورت بهـذه الطريقة على الرغم مـن غياب الأدلة حول الأشـكال الانتقالية في ذلك الحين.

وظل مـن الصعـب العثور علـى أدلة مباشـرة. فبينما يسـتطيع الباحثون الذين يدرسـون تطور الهيـكل العظمي توثيق اسـتحالاته بسـهولة من السـجل الأحفوري، إلا أن الأبنية المؤلفة من أنسـجة رخوة نادرا ما تتحول إلى أحفورة، وحتـى إذا تحولت إلى أحفورة فـإن الأحفورة لا تحتفظ بما يكفـي من التفاصيل التي تسـمح بتحديـد كيفية تطور هذه البنى. ومع ذلك حقق البيولوجيون مؤخرا تقدما مهما في تتبُّع أصل العين، وذلك بدراسـة تطور أشكالها في الأجنّة النامية وبمقارنـة بنية العين والجينات عبر الأنواع لإعادة بناء أوقات ظهور السمات الرئيسـة. وتشير النتائج إلى أن نوع عيوننا، أي النمط الشـائع بين الفقاريات، أخذ شـكله خلال أقل من مئة مليون سنة متطورا من **مجسّ ضوئي** light sensor بسيط لضبط **الإيقاعات اليومية** circadian rhythms والموسمية منذ نحو 600 مليون سـنة إلى عضو متطور بصريا وعصبيا منذ 500 مليون سـنة. وبعد مرور أكثر من 150 سـنة من نشـر <داروين> لنظريته الرائـدة تدق هذه النتائج آخر مسـمار في تابـوت التعقيد غير القابل للاختـزال وتدعم أناقة فكرة <داروين>. كما تفسر لماذا يُشاهَد في العين، البعيدة كل البعد عن أن تكون آلة مصممة بإتقـان، عددا من عيوب التصميم: هذه العيوب هي ندبات التطور. فالانتقاء الطبيعي لا يؤدي إلى الكمـال كما قد يعتقد البعض، بل يرتجل ليصنع شـيئا من المواد المتوفرة له، فيأتي أحيانا بنتائج عجيبة.

وكي يفهم المرء كيف ظهرت العين عليه أن يعرف شيئا عما حدث في الحقب الغابرة. فلدينا – نحن البشـر – خط لا ينقطع من الأسـلاف يمتد إلى الماضي نحو أربعة بلايين سـنة حتى بداية الحياة على الأرض. فمنذ ما يقارب بليون سـنة تشـعّبت الحيوانات البسـيطة المتعددة الخلايا إلى مجموعتين: تتصف

(*) EVOLUTION OF THE EYE
(١) creationists and intelligent design
(٢) *the origin of species*

باختصار

عينُ الحيوانات الفقارية معقدة لدرجة أن أنصار نظرية الخلق استعملوها لوقت طويل كحجتهم المفضلة على أنها لا يمكن أن تكون قد تطورت بالانتقاء الطبيعي.

الأنسجة الرخوة نادرا ما تتأحفر، ولكن العلماء تشكل لديهم فهمٌ لمنشأ العين من خلال مقارنة بنى العين وتطورها الجنيني في الأنواع الفقارية.

وهذه الأدلة تشير إلى أن جذور عيننا من نمط الكاميرا، ضاربة في القدم بشكل مدهش، وقبل أن تكتسب العناصر الضرورية لتعمل كعضو إبصار، كانت وظيفتها كشف الضوء لتعديل الإيقاعات اليومية عند أسلافنا القدامى.



المؤلف

Trevor D. Lamb

<لامب> باحث في قسم العلوم العصبية في كلية جون كورتين للأبحاث الطبية وفي مركز التفوق في علوم الإبصار لمجلس الأبحاث الأسترالي بجامعة أستراليا الوطنية في كانبيرا. تركزت أبحاثه على المستقبلات الضوئية من العصيّ والمخاريط في شبكية الفقاريات.

إحداهما بمخطط الجسم المتناظر شعاعيا (لها جانب علوي وآخر سفلي، ولكن ليس لها أمام أو خلف) والأخرى، التي نشأ عنها أغلب الكائنات التي نعتبرها حيوانات ثنائية التناظر لها جانبان أيمن وأيسر، أحدهما انعكاس مرآة للآخر، ويقع الرأس في أحد طرفيها. ومن ثم تشعّبت ثنائيات التناظر بدورها قبل نحو 600 مليون سنة مضت إلى مجموعتين مهمتين: واحدة نشأت عنها الأغلبية الساحقة من المخلوقات المعاصرة التي ليس لديها عمود فقري (اللافقاريات)، والأخرى تشمل سلالتنا الفقارية. وبعد أن افترقت هاتان السلالتان بقليل ظهر وتكاثر تنوُّع مذهل من مخططات الجسم خلال ما يسمى **بالانفجار الكامبري** cambrian explosion الذي ترك أثره الشهير في السجل الأحفوري بين ما يقارب 540 إلى 490 مليون سنة خلت. ووضع هذا الانفجار التطوري الأساسَ لظهور عيننا المعقدة.

العين المركبة مقابل العين الكاميرا(*)

يبين السجل الأحفوري أنه خلال الانفجار الكامبري ظهر شكلان مختلفان أساسا للعين. الشكل الأول على ما يبدو هو **العين المركبة**(1) من النمط الذي نراه اليوم عند الأفراد البالغين في جميع الحشرات والعناكب والقشريات، التي هي جزء من مجموعة اللافقاريات المعروفة باسم (**مفصليات الأرجل**)(2). في هذا النمط من العين تقوم منظومة من وحدات تصويرية متماثلة كل واحدة منها عبارة عن عدسة أو عاكس ضوء يبثّ الضوء إلى بضعة عناصر حساسة للضوء تسمى المستقبلات الضوئية. والعين المركبة فعّالة جدا بالنسبة إلى الحيوانات الصغيرة، إذ توفر الرؤية بزاوية واسعة ودقة تفاصيل مكانية معتدلة في الحجم الصغير. وربما وفّرت هذه القدرات الإبصارية (خلال عصر الكامبري للتريلوبيت) وغيرها من مفصليات الأرجل العتيقة ميزات بقاء مقارنة بالكائنات المختلة الإبصار المعاصرة لها. إلاّ أن العين المركبة غير عملية بالنسبة إلى الحيوانات الكبيرة لأن حجم العين المطلوب لتحقيق إبصار ذي دقة تفاصيل عالية سيكون كبيرا جدا. وهكذا، مع زيادة حجم الجسم ازدادت الضغوط الانتقائية التي تفضّل تطور

(*) COMPOUND VS. CAMERA
(1) compound eye
(2) the arthropods

نمط آخر من العين، وهو نوع الكاميرا.

وفي العيون على شاكلة الكاميرا تشترك المستقبلات الضوئية جميعها في عدسة وحيدة تركز الضوء، وهي مرتّبة على شكل صفيحة (الشبكية) تبطن السطح الداخلي لجدار العين. ولدى الحبّار والأخطبوط عيون على شكل كاميرا ذات شبه سطحي بعين البشر، ولكن مستقبلاتها الضوئية من النمط نفسه الذي يوجد في عين الحشرة. أما الفقاريات فلديها نمط مختلف من المستقبلات الضوئية، ولهذا النمط نوعان في **الفقاريات الفكية**(1) (بما فيهم نحن): المخاريط للإبصار في النهار، والعصيّ للإبصار في الليل.

ومنذ عدة سنوات شكلتُ فريقا، مع كل من <E .N. پيو جونيور> [الذي كان يعمل حينها في جامعة پنسيلڤانيا] و<S. كولين> [من جامعة كوينسلاند في أستراليا] لمحاولة فهم السبل المحتملة لتطور هذه الأنماط المختلفة من المستقبلات الضوئية. وما وجدناه تجاوز مجرد الإجابة عن ذلك السؤال وقدم سيناريو مقنعا لأصل عين الفقاريات.

جذور عميقة(*)

وقد لاحظ هذا الفريق، مثل البيولوجيين الآخرين قبلنا، أن الكثير من السمات المميزة لعين الفقاريات متماثلة عند جميع ممثلي فرع ضخم من شجرة الفقاريات، هو الفقاريات الفكية. ويشير هذا النمط إلى أن الفقاريات الفكية ورثت هذه السمات من سلف مشترك وأن عيننا كانت قد تطورت منذ ما يقارب 420 مليون سنة، عندما كانت الفقاريات الفكية الأولى (التي كانت على الأغلب تشبه الأسماك الغضروفية المعاصرة مثل سمك القرش) تجوب البحار. وجادلنا في أن جذور عيننا ذات نمط كاميرا ومستقبلاتها الضوئية يجب أن تكون أعمق، فحوّلنا انتباهنا إلى الفقاريات اللافكية الأكثر بدائية التي نتشارك معها في سلف مشترك منذ نحو 500 مليون سنة.

وأردنا أن نفحص تشريحَ واحد من هذه الحيوانات بالتفصيل فقررنا أن نركز على واحد من الحيوانات المعاصرة القليلة من هذه الزمرة، وهو **الجلكة** lamprey ذو فم قمعي مصمم للمصّ وليس للعضّ. وتبين أن لهذه السمكة أيضا عينا من نمط الكاميرا ذات عدسة وقزحية وعضلات. بل إن شبكية الجلكة ذات بنية ثلاثية الطبقات مثل شبكيتنا، وتشبه مستقبلاتها الضوئية شبها كبيرا المخاريط في شبكية الإنسان، مع أنها على ما يبدو لم تطوِّر **العصيّ** rods الأكثر حساسية. فضلا عن ذلك، فإن الجينات التي تتحكم في الكثير من نواحي كشف الضوء والمعالجة العصبية وتطور العين هي الجينات نفسها التي توجه هذه العمليات في الفقاريات الفكية.

هذه التشابهات اللافتة للنظر في عين الفقاريات الفكية كثيرةٌ جدا مما يستبعد أن تكون قد ظهرت بصورة مستقلة في فروعها، بل يجب أن تكون العين التي تشبه في ملامحها الأساسية عيننا موجودة عند السلف المشترك للفقاريات الفكية واللافكية منذ 500 مليون سنة. عند هذه النقطة تساءلنا ما إذا كنّا نستطيع أن نتتبع منشأ العين ومستقبلاتها الضوئية إلى الماضي الأقدم. وللأسف، لا يوجد ممثلون أحياء للسلالات التي انفصلت عن سلالتنا خلال الخمسين مليون سنة السابقة، وهي الفترة الزمنية المنطقية التالية لهذه الدراسة. ولكننا وجدنا أدلّة في عين حيوان غامض اسمه **الجرِّيث** hagfish.

والجريث، مثل أقاربه من سمك الجلكة، هو سمك عديم الفك يشبه **الأنقليس**(2)، ويعيش عادة في قعر المحيطات حيث يتغذى بالقشريات وجثث المخلوقات البحرية الأخرى الراسبة. وعندما يشعر الجريث بتهديد يفرز مخاطا لزجا للغاية، ومن هنا لقبه «الأنقليس المخاطي». ومع أن الجريث من الفقاريات، إلاّ أن عينه تختلف اختلافا كبيرا عما هي في الفقاريات؛ فعين الجريث ليس لها قرنية ولا قزحية ولا عدسة ولا عضلات داعمة، وشبكيتها تتألف فقط من طبقتين من الخلايا وليس ثلاث. وإضافة إلى ذلك، فكل عين مطمورة عميقا تحت طبعة شافّة من الجلد. وتشير ملاحظة سلوك الجريث إلى أن هذا الحيوان يكاد يكون أعمى ويستدل على الجيف بواسطة حاسة شمه الحادة.

ويشترك الجريث بسلف مشترك مع الجلكة. ومن المفترض أن هذا السلف كان لديه عين من نمط الكاميرا مثل الجلكة. ومن ثمّ، يفترض أن عين الجريث قد تدهورت من شكل أكثر تقدما، وبقاؤها بهذا الشكل المصغّر يخبرنا الكثير. فنحن نعلم من سمك الكهوف الأعمى، مثلا، أن العين يمكن أن تتدهور تدهورا جسيما ويمكن حتى أن تختفي خلال فترة وجيزة لا تتجاوز عشرة آلاف سنة. ولكن عين الجريث بقيت على حالها مئات ملايين السنين. ويشير هذا الاستمرار إلى أن لهذا العضو أهمية ما من أجل البقاء، حتى ولو لم يستطع الحيوان استخدامه للرؤية في الأعماق المعتمة للمحيطات. ويشير هذا الاكتشاف ضمنيا إلى أمور أخرى. فمن المحتمل أن تكون عين الجريث قد وصلت إلى هذه الحالة من الضمور نتيجة فشل في النمو، وبهذا فإن البنية الحالية لعينه قد تمثل مرحلة تطورية أبكر؛ أي إن كيفية عمل عين الجريث يمكن أن

(*) DEEP ROOTS
(1) Jawed Vertebrates
(2) hagfish



تلقي ضوءا على كيفية عمل العين الأولية، أي العين البدئية قبل أن تتطور لتصبح عضو إبصار.

ويمكن أن نستوحي إشارات خفيفة إلى الدور الذي قد تؤديه عين الجريث من تفحُّص دقيق لشبكية هذا الحيوان. ففي الشبكية المعيارية للفقاريات، الشبكية ذات الثلاث طبقات، تقوم الخلايا في الطبقة المتوسطة، والتي تسمى بالخلايا الثنائية القطب، بمعالجة المعلومات من المستقبلات الضوئية ونقلها إلى **عصبونات الإخراج** output neurons التي تنتقل إشاراتها إلى الدماغ ليجري تفسيرها. أما شبكية الجريث ذات الطبقتين فتفتقر إلى الخلايا الثنائية القطب المتداخلة، وهذا يعني أن المستقبلات الضوئية تتصل بعصبونات الإخراج مباشرة. ومن هذه الناحية تشبه التوصيلات العصبية لشبكية الجريث إلى حد كبير التوصيلات في ما يسمى

(*) Echoes of Evolution

ندبات التطور[*]

تحوي عين الفقاريات، وهي بعيدة تماما عن أن تكون تصميما ذكيا - عيوبا عديدة تشهد على أصلها التطوري ويؤدي بعض هذه العيوب إلى تدني جودة الصورة، ومنها أن الشبكية مقلوبة، لذا يجب على الضوء أن يمر عبر أجسام الخلايا والألياف البصرية قبل أن يصل إلى المستقبلات الضوئية 1؛ وتلقي الأوعية الدموية التي تمتد عبر السطح الداخلي للشبكية ظلالا على الشبكية 2؛ أما الألياف العصبية التي تتجمع سوية لتخترق الشبكية عبر فتحة وحيدة لتصبح العصب البصري، فتنشأ عنها البقعة العمياء 3.

المستقبلات الضوئية
الشبكية
وعاء دموي
العصب البصري

بالغدة الصنوبرية[1]، وهي جسم صغير يفرز الهرمونات في دماغ الفقاريات. تتحكّم الغدة الصنوبرية في الإيقاعات اليومية، وفي **الفقاريات اللاثديية**[2] تحوي هذه الغدة خلايا مستقبلة للضوء تتصل مباشرة بعصبونات الإخراج من دون خلايا وسيطة؛ وفي الثدييات فقدت تلك الخلايا القدرة على الإحساس بالضوء.

وبناء على هذا التشابه مع الغدة الصنوبرية، اقترحت في عام 2007 مع زملائي أن عين الجريث لا تعمل في الإبصار بل توفر المدخلات إلى ذلك الجزء من دماغ الحيوان الذي ينظم الإيقاعات اليومية الحيوية، إضافة إلى النشاطات الموسمية كالتغذية والتكاثر. ومن ثم من المحتمل أن العين الأولية في الفقاريات الأولية التي عاشت ما بين 550 مليون و500 مليون سنة مضت كانت عضوا لابصريا ولم تطوِّر إلاّ لاحقا القدرة على المعالجة العصبية والمكونات البصرية والحركية اللازمة للإبصار المكاني.

وتدعم دراسات التطور الجنيني لعين الفقاريات هذه النظرية. فعندما يكون سمك الجلكة في طور اليرقة، يعيش في مجاري الجداول، وهو أعمى مثل الجريث. وفي هذه المرحلة تشبه عينه عين الجريث من حيث بساطة بنيتها وكونها مطمورة تحت الجلد. وعندما تمر اليرقة في مرحلة التحول تنمو عينها الضامرة بشكل ملموس وتتطور فيها شبكية ذات طبقات ثلاث؛ وتتشكل كذلك العدسة والقرنية والعضلات الداعمة جميعها، ثم ينبثق العضو إلى السطح كعين الفقاريات من نمط الكاميرا. وبما أن جوانب كثيرة من تطور الفرد تعكس الحوادث التي جرت خلال تطور أسلافه، نستطيع أن نستخدم تطور عين الجلكة، بشيء من الحذر، في إعادة بناء تاريخ تطور العين.

إن عين الثدييات خلال تطورها الجنيني تقدم بعض الشواهد التي تشير إلى منشئها التطوري. وقد اكتشف <B. E.> ريز وزملاؤه [بجامعة كاليفورنيا في سانتا باربارا] أن توصيلات شبكية الثدييات تكون في البدء مثل توصيلات الجريث إلى حد بعيد، إذ تتصل المستقبلات الضوئية فيها بعصبونات الإخراج مباشرة؛ وبعد ذلك، وخلال بضعة أسابيع، تنضج الخلايا الثنائية القطب وتنغرز بين المستقبلات الضوئية وعصبونات (نورونات) الإخراج. وهذا التتالي هو تماما نمط النمو الذي يمكن أن يتوقعه المرء ليعرف ما إن كانت شبكية الفقاريات قد تطورت من عضو ذي طبقتين لتنظيم الإيقاعات اليومية، وذلك بإضافة قدرة المعالجة ومكونات لتشكيل الصورة. ومن ثمّ يبدو معقولا تماما أن هذه المرحلة البسيطة المبكرة للتطور تمثل أثرا باقيا عن فترة في تاريخ التطور قبل اختراع توصيلات الخلايا الثنائية القطب وقبل اختراع العدسة والقرنية والعضلات الداعمة.

نشوء المستقبِلات[**]

بينما كنا ندرس نمو طبقات الشبكية الثلاث، خطر لنا سؤال آخر متعلق بتطور العين. إذ تنقسم المستقبلات الضوئية في مملكة الحيوان إلى صنفين متميزين: **صنف محوري** rhabdomeric class وآخر **هدبي** ciliary. وحتى الماضي القريب، كان أغلب العلماء يعتقد أن اللافقاريات تستخدم

(*) Scars of Evolution
(**) RISE OF THE RECEPTORS
(1) pineal gland
(2) nonmammalian vertebrates

صنف المستقبلات المحورية بينما تستخدم الفقاريات الصنف الهدبي ولكن الوضع في الواقع، أكثر تعقيدا. فالمستقبلات الضوئية الهدبية مسؤولة في الأغلبية الساحقة من **المتعضيات** organisms عن استشعار الضوء للأغراض اللابصرية، مثل تنظيم الإيقاعات اليومية. وعلى العكس من ذلك، فإن المستقبلات المحورية تستشعر الضوء بغرض التمكين من الإبصار تحديدا. وتستعمل الأعين المركبة في مفصليات الأرجل والأعين من نمط الكاميرا في الرخويات، كالأخطبوط – وكلاهما تطور بصورة مستقلة عن العين من نمط الكاميرا عند الفقاريات– مستقبلات ضوئية محورية؛ ولكن عين الفقاريات تستخدم الصنف الهدبي من المستقبلات الضوئية من أجل استشعار الضوء للإبصار.

وفي عام 2003 نشر <D. آرندت> [من المختبر الأوروبي للبيولوجيا الجزيئية في هايدلبرگ، ألمانيا] بينات تشير إلى أن عيننا لا تزال تحافظ على خلايا مشتقة من المستقبلات الضوئية المحورية التي جرت عليها تعديلات عظيمة لتشكل عصبونات (نورونات) الإخراج التي ترسل المعلومات من الشبكية إلى الدماغ. يعني هذا الاكتشاف أن شبكيتنا تحوي أنسال كلا الصنفين من المستقبلات الضوئية: الصنف الهدبي الذي كان مستقبلات ضوئية دائما والصنف المحوري الذي استحال إلى عصبونات الإخراج. وإن استخدام بنية موجودة لغرض جديد هو بالذات طريقة عمل التطور، ولهذا فإن اكتشاف أن للمستقبلات الضوئية الهدبية والمحورية أدوارا مختلفة في عيننا عن تلك في عين الفقاريات يعطي المزيد من القوة للأدلة التي تشير إلى أن عين الفقاريات نشأت من خلال عمليات طبيعية. ولكننا تساءلنا ما هي أشكال الضغوط البيئية التي كان من الممكن أن تدفع تلك الخلايا نحو اتخاذ هذه الأدوار الجديدة.

وسعيا إلى فهم أسباب سيادة المستقبلات الضوئية الهدبية كمستشعرات الضوء في شبكية الفقاريات، في حين تطور صنف الخلايا المحورية إلى عصبونات لإرسال الإشارات، أجريتُ تحليلا لميزات الأصبغة الحساسة للضوء في كل من الصنفين، أو الرودوپسينات، والتي سميت بذلك لدخول جزيء الأوپسين في تركيبها. وفي عام 2004، بيّن <Y. شيتشيدا> وزملاؤه [في جامعة كيوتو باليابان] أنه في مرحلة مبكرة من تطور الأصبغة البصرية للفقاريات حدث فيها تغير جعل الشكل المفعّل بالضوء أكثر ثباتا، ومن ثم أكثر نشاطا. وبناء عليه طرحتُ فرضية أن هذا التغير أدى كذلك إلى سدّ السبيل أمام إعادة تحويل الرودوپسين المفعل إلى شكله الخامل مرة أخرى، ويحدث هذا التغير في الرودوپسينات المحورية بامتصاص فوتون ثانٍ من الضوء؛ وهذا يتطلّب بالضرورة ظهور مسار بيوكيميائي لإعادة الجزيء إلى شكله الخامل الذي يسمح له باستشعار الضوء مرة أخرى. وافترضتُ أنه متى اجتمع هذان العنصران أصبح للمستقبلات الضوئية الهدبية أفضلية واضحة على المستقبلات الضوئية المحورية في بيئات ذات مستويات إضاءة ضعيفة، مثل أعماق المحيطات، حيث مستويات الضوء ضعيفة جدا. وكنتيجة لذلك، ربما استطاعت بعض أوائل **الحبليات** chordates (أسلاف الفقاريات) استيطان موائل إيكولوجية تعذر استيطانها على الحيوانات المعتمدة على المستقبلات الضوئية المحورية – ليس لأن الأوپسين الهدبي المحسَّن يعطي إبصارا أفضل (فالمكونات الأخرى للعين من نمط الكاميرا لم تكن قد تطورت بعد)، بل لأنها قدمت طريقة أفضل لاستشعار الضوء مما سمح بضبط الساعات اليومية والموسمية.

ولهذه الحبليات العتيقة التي كانت تسكن في العوالم المظلمة أصبحت المستقبلات الضوئية المحورية ذات الحساسية الأقل عديمة الفائدة تقريبا، لذا صار عندها مجال لتأخذ دورا جديدا: عصبونات تنقل الإشارات إلى الدماغ. (وفي هذه المرحلة لم تعد تحتاج إلى أوپسين، لذا أزاله الانتقاء الطبيعي من هذه الخلايا.)

ولادة العين(*)

بعد أن تكونت عندي وعند زملائي فكرة حول نشأة شبكية الفقاريات، أردنا أن نعرف كيف تطورت العين من عضو مستشعر للضوء، ولكن لابصري، إلى عضو مشكّل للصورة منذ نحو 500 مليون سنة. وهنا أيضا وجدنا أدلة في تطور الأجنة. وفي مراحل النمو المبكرة تبرز على كلا الجانبين البنية العصبية التي تنشأ منها العين فتشكل كيسين أو حويصلتين. وعندئذ تنطوي كل من الحويصلتين على نفسها فتشكل شبكية على هيئة الحرف C تبطّن داخل العين. ومن المحتمل أن التطور سلك طريقا مماثلا إلى حد بعيد. ومن ثم فقد افترضنا أن العين الأولية من هذا النوع، أي عينا أولية ذات شبكية على هيئة الحرف C بطبقتين تتألف من مستقبلات ضوئية هدبية في الطبقة الخارجية وعصبونات إخراج مشتقة من المستقبلات الضوئية المحورية في الطبقة الداخلية، تشكلت عند أحد أسلاف الفقاريات بين 550 مليون و 500 مليون سنة، لتقوم بوظيفة ضبط ساعتها الداخلية وربما تساعدها على الإحساس بالظلال وتوجيه جسمها بالطريقة المناسبة.

وفي المرحلة التالية للتطور الجنيني تتشكل العدسة، بينما تنطوي الشبكية إلى الداخل على نفسها؛ وتنشأ العدسة من تثخن

(*) AN EYE IS BORN

التتمة في الصفحة 73

كيف تغلبت نيويورك على الجريمة(*)

تُعتبر التفاحة الكبيرة(١) نموذجا في كيفية استئصال جرائم القتل والسلب وغيرها من العلل وذلك بفضل استغلاله البارع لرجال الشرطة والأساليب المبتكرة.

<E .F. زيمرنگ>

على مدى العشرين سنة الفائتة، كان سكان نيويورك أكبر المستفيدين من الانخفاض الكبير المطرد في معدل الجريمة بشوارع المدينة الذي لم يسبق أن شهدت مثيله أي مدينة كبيرة أخرى في العالم المتقدم. ففي أقل من جيل، انخفضت معدلات عدد من الجرائم الشائعة التي كانت تدبُّ الرعب في صفوف الجماهير مثل جرائم القتل والسطو والسرقة، بنسبة تفوق 80%. فمع حلول عام 2009 انخفض معدل جرائم القتل إلى درجة أقل مما كان عليه في عام 1961. كما أن خطر تعرض المرء للسرقة انخفض إلى سُدس معدله في عام 1990، كما تراجع خطر سرقة السيارات بنسبة 16/1.

فقبل عشرين عاما كان معظم علماء الجريمة وعلماء الاجتماع يشكّون في إمكانية المدن الكبيرة على خفض هذا النوع من الجريمة بمثل هذا القدر. وعلى الرغم من أن مستوى النجاح الذي حققته مدينة نيويورك باتَ معروفا وموَّثقا تماما الآن، ربّما لا يدرك معظم الناس أن تجربة المدينة أظهرت عدم صواب العديد من الفرضيات السائدة في أمريكا الحديثة بخصوص الجريمة، بما في ذلك الفرضية القائلة إن تخفيض معدل الجريمة يقتضي أولا معالجة الفقر والبطالة وتعاطي المخدرات، وأنه يتطلب أيضا إلقاء القبض على العديد من الناس وإيداعهم في السجن، أو ترحيل الأقليات بعيدا عن مراكز المدن. فبدلا من ذلك قامت مدينة نيويورك بقطع أشواط كبيرة نحو حل مشكلة الجريمة فيها من دون إجراء تغييرات جذرية في تركيبتها العرقية والإثنية؛ وقد فعلت هذا من دون أن تخفض مستوى الفقر والبطالة بأكثر مما خفضته المدن الأخرى؛ لا بل إنها قامت بذلك من دون أن تنتصر في حربها على المخدرات أو من دون أن تشارك في عمليات **الحبس الجماعي**(٢) التي حدثت عبر بقية الولايات الأمريكية.

ومن المؤكد أن المدينة ستكون في وضع أفضل وأكثر أمانا إن تمكنت من حلّ مشكلاتها الاجتماعية الأعمق: تحسين مدارسها، وتقليل عدم المساواة في الدخل، وتحسين الظروف المعيشية في أسوأ الأحياء. بيد أن تجربة مدينة نيويوركٍ تقدم رسالة واعدة مفادها أن معظم الجرائم ما هي في جُلها إلا نتيجة ظروف يمكن تغييرها من دون إحداث تغييرات بنيوية واجتماعية مُكلفة. فليس مُقدَّرا على البشر ارتكاب الجرائم، والمجتمعات البَشرية ليست مجبولة بحكم طبيعتها الإثنية أو الجينية أو الاجتماعية - الاقتصادية على احتمال أن تكون أكثر عرضة لذلك الخطر. إضافة إلى ذلك، فإن التغييرات المنهجية التي أحدثتها المدينة في سياق جهودها للتقليل من الجرائم لم تكن باهظة التكاليف ويمكن مواءمتها مع ظروف المدن الكبرى الأخرى.

(*) HOW NEW YORK BEAT CRIME
(١) The Big Apple: اسم متعارف عليه لمدينة نيويورك.
(٢) mass incarceration

باختصار

في تسعينات القرن العشرين هبطت معدلات الجرائم الأكثر شيوعا في معظم الولايات المتحدة الأمريكية، بيد أن هذا الهبوط في مدينة نيويورك دام فترة أطول تصل إلى ضعف مدته في المدن الأخرى ووصل إلى معدلات منخفضة أقل بمرتين.

لقد تحدت النجاحات التي حققتها مدينة نيويورك الفرضيات الشائعة، التي تقول إن استخدام المخدرات على سبيل المثال يعزز ارتكاب الجريمة، وأن احتجاز الناس يقلل من معدلاتها.

وتظهر حكاية هذه المدينة أن الناس ليسوا مجرمين بطبعهم، كما تشير إلى أنه بإمكان المدن الأخرى تحقيق نتائج مماثلة من خلال زيادة عدد رجال الشرطة المنتشرين في الشوارع، لا سيما في «النقاط الساخنة» لوقوع الجرائم.



المؤلف

Franklin E. Zimring

*>زيمرنگ< أستاذ دكتور في كلية القانون بجامعة كاليفورنيا في بيركلي. وهو مؤلف، أو مؤلف مشارك لعدد من الكتب حول موضوعات تشمل **عقوبة الإعدام**[١]، ودرجة الأحكام بالسجن، ومكافحة المخدرات. وفي عام 1991، كتب >زيمرنگ< مقالة لمجلة ساينتفيك أمريكان حول الأسلحة النارية والعنف.*

انخفاض حقيقي[*]

لقد كانت السنوات التسع الأولى التي انخفضت فيها معدلات الجريمة في مدينة نيويورك جزءا من توجه وطني أكثر شمولية، وهو انخفاض عام بنسبة 40% تقريبا كان قد بدأ في أوائل تسعينات القرن العشرين وانتهى في عام 2000. لقد كان هذا الهبوط هو الأطول والأوسع نطاقا في التاريخ الحديث في جميع أرجاء الولايات المتحدة الأمريكية. وما يميز مدينة نيويورك عن المنحى العام هو أن الانخفاض بلغ ضعف المنحى الوطني ودام فترة أطول تصل إلى الضعف.

ويمكن مشاهدة هذا الفارق الهائل بين هبوط مقداره 40% وآخر مقداره 80% من خلال مقارنة معدلات القتل في الفترة الواقعة بين عامي 1990 و 2009 في أكبر خمس مدن في الولايات المتحدة، هي: نيويورك وهيوستون وفيلادلفيا وشيكاغو ولوس أنجلوس. فالتراجع الكبير في معدل الجريمة في تسعينات القرن العشرين قلل من جرائم القتل في جميع هذه المدن الخمس، وكان مقداره كبيرا في أربع مدن منها. ولكن أرقام نيويورك تحولت من المتوسط في معدلات جرائم القتل في عام 1990 إلى الأقل معدلا بين المدن الخمس – فهي أقل بنسبة 30% من معدل المدينة التي تليها في الأفضلية، وأقل بنسبة 40% فقط من المعدل المتوسط للمدن الأربع الأخرى.

وبالطبع فإن من يقوم بإعداد إحصائيات الجرائم الرسمية وتدقيقها هو دوائر الشرطة ذاتها التي يعلو رصيدها عندما تهبط معدلات الجريمة وتتلقى اللوم عندما ترتفع. وبالفعل فإن الاتهامات التي تُوجَّه إلى مديرية شرطة مدينة نيويورك (NYPD)[٢] بأنها تتلاعب في البيانات لجعل أرقام الإحصائيات تبدو حسنة لقيت الكثير من اهتمام وسائل الإعلام. ولكن هناك أيضا ثمة شواهد غير مؤكدة عن سوء سلوك الشرطة في أماكن أخرى، تشمل عدة مدن أمريكية حيث الأرقام الرسمية لا تدعو إلى التفاؤل كثيرا. ومع ذلك، كيف يمكن لنا أن نكون على ثقة من أن الأخبار الجيدة على نحو لافت تعكس الواقع

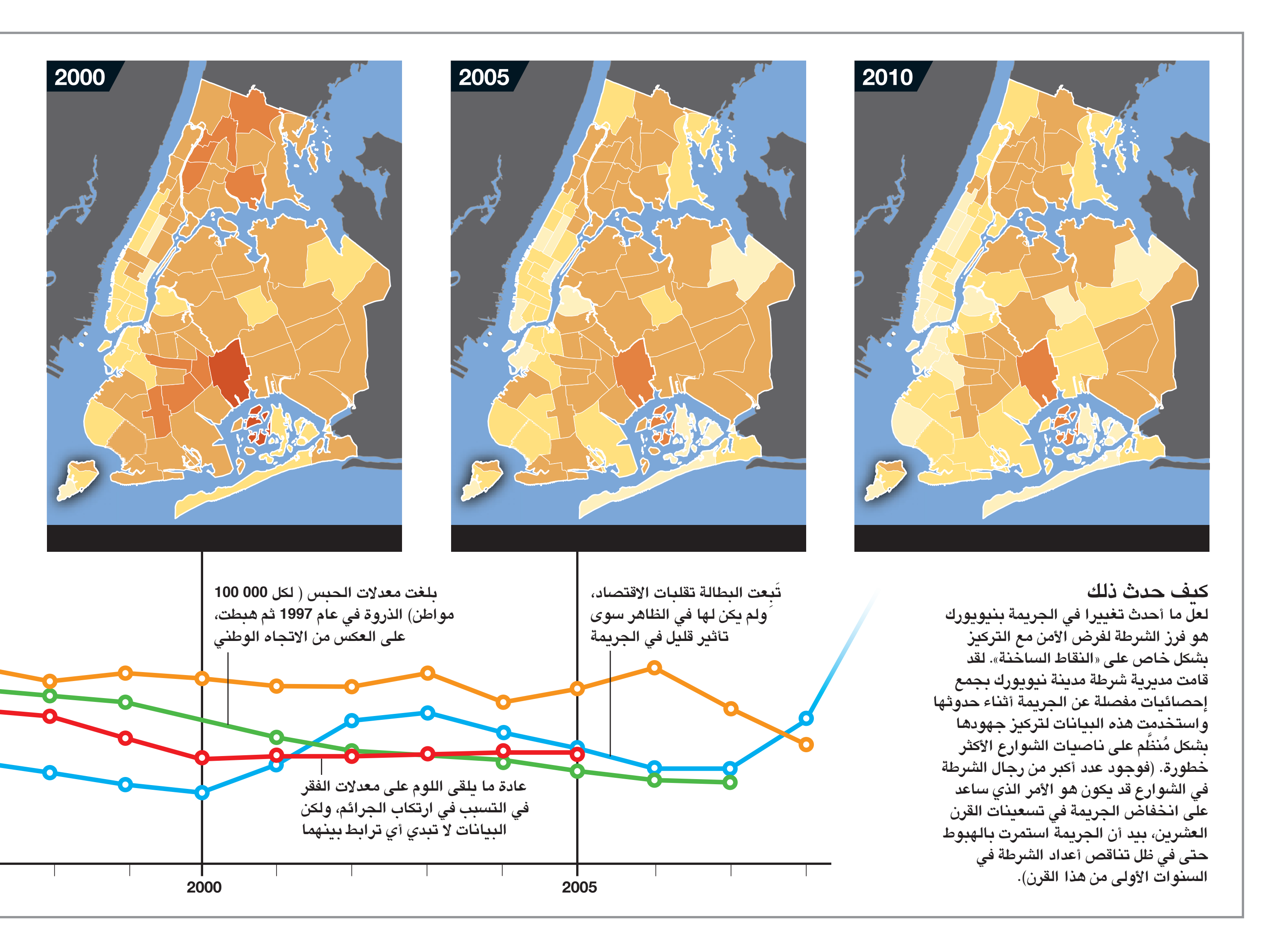


الفعلي لجرائم الشارع؟

لعل أفضل الطرق للتحقق من اتجاهات معدلات الجريمة هي مقارنتها ببيانات مستقلة. ومن حسن الحظ أن هناك وكالات مستقلة عن الشرطة تحتفظ بسجلات لمؤشرين رئيسين من مؤشرات الجريمة، وقد أيدت نتائجها بيانات مديرية شرطة مدينة نيويورك NYPD. بالنسبة إلى المؤشر الأول، تحتفظ مديريات الصحة في المقاطعات بسجلات دقيقة عن جميع الوفيات وتقدم تقارير خاصة عن الحالات التي تصنفها الشرطة بأنها جرائم **قتل متعمد**[٣] وقتل غير متعمد «**غير ناتج من الإهمال**[٤]». وعبر السنوات التسع عشرة التي كانت فيها تقارير الشرطة تشير إلى تراجع كبير في معظم أنواع الجرائم، كان التوافق بين تقارير الشرطة وتقارير الصحة في كل سنة من هذه السنوات تاما من الناحية العملية. وبالنسبة إلى المؤشر الثاني فيما يخص سرقة السيارات (التي انخفضت على نحو مذهل بنسبة 94%)، تسجل شركات التأمين مطالبات التأمين التي يتقدم بها ضحايا هذه السرقات. وقد استطعتُ الحصول على تقارير سنوية عن حالات السرقة والفقدان من شركتي تأمين منفصلتين. أشارت الإحصائية الأشمل من مطالبات دعاوى التأمين إلى تراجع معدلات السرقة بنسبة تفوق بقليل 90%.

كما عثرتُ أيضا على دليل مستقل عن الانخفاض الكبير

(*) A True Decline
(١) capital punishment
(٢) The New York City Police Department
(٣) murder
(٤) nonnegligent



كيف حدث ذلك

لعل ما أحدث تغييرا في الجريمة بنيويورك هو فرز الشرطة لفرض الأمن مع التركيز بشكل خاص على «النقاط الساخنة». لقد قامت مديرية شرطة مدينة نيويورك بجمع إحصائيات مفصلة عن الجريمة أثناء حدوثها واستخدمت هذه البيانات لتركيز جهودها بشكل مُنظَّم على ناصيات الشوارع الأكثر خطورة. (فوجود عدد أكبر من رجال الشرطة في الشوارع قد يكون هو الأمر الذي ساعد على انخفاض الجريمة في تسعينات القرن العشرين، بيد أن الجريمة استمرت بالهبوط حتى في ظل تناقص أعداد الشرطة في السنوات الأولى من هذا القرن).

في عمليات السطو. فبينما تُسجَّل تقارير عن عمليات السطو البسيطة في مركز الشرطة التابع للمنطقة[1]، يتم تسجيل تقارير حوادث القتل التي تنجم عن عمليات السطو بشكل مستقل في دائرة الشرطة التابعة للمدينة[2]، التي تقوم بدورها أيضا بتزويد مكتب التحقيقات الفيدرالي (FBI) بهذه المعلومات وهي معلومات يصعب حجبها. وقد انخفضت حوادث القتل الناجمة عن عمليات السطو بنسبة تفوق 84% في جميع هذه العمليات. وقد أكدت الاستطلاعات التي أجريت مع الضحايا انخفاض كل من عمليات السطو وعمليات السرقة في مدينة نيويورك (وهي جرائم اقتحام للمنازل أو المحال التجارية يتم ارتكابها في غياب أصحابها، بينما في عمليات السطو تحصل مواجهة مباشرة بين اللص والضحية).

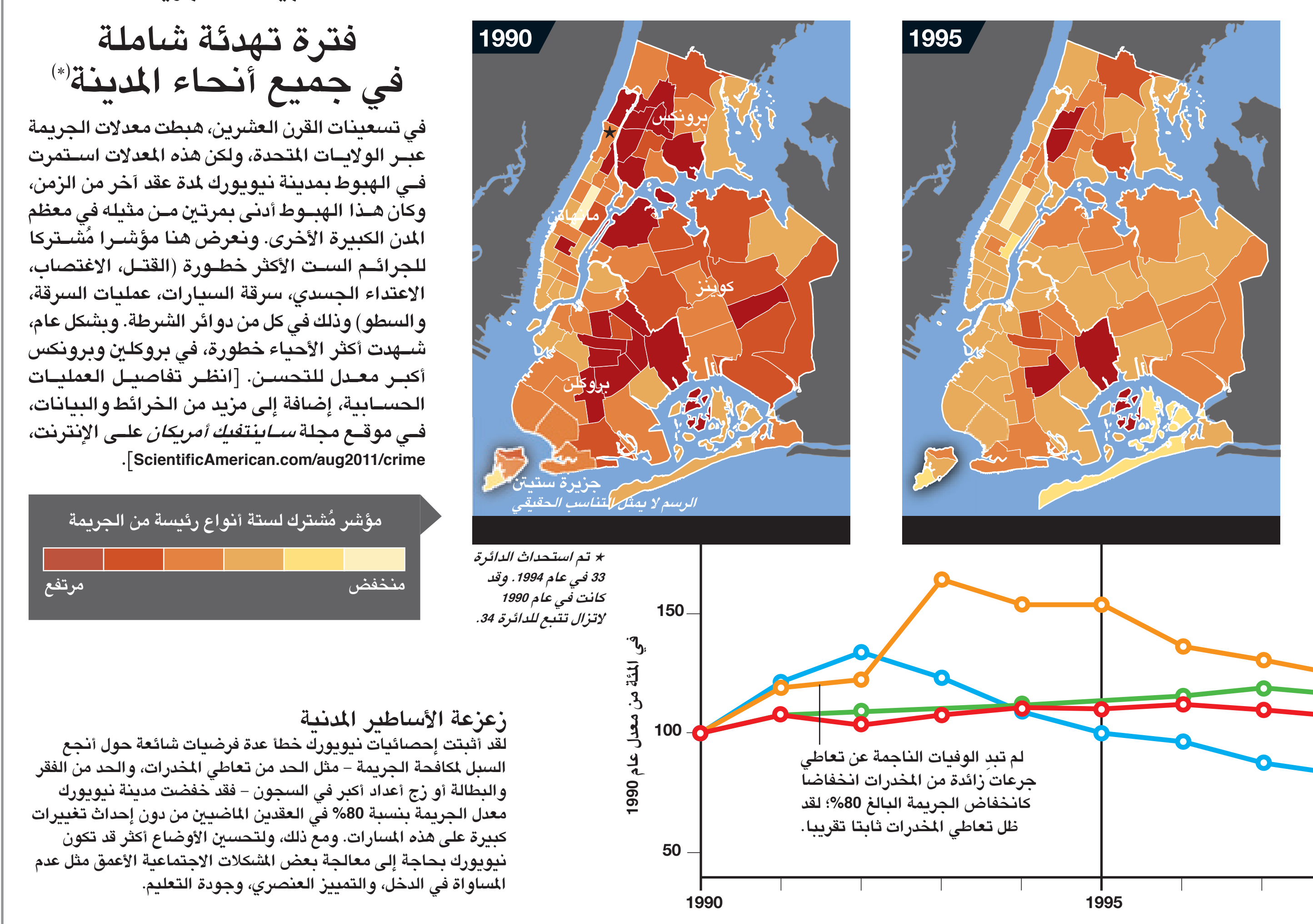
وفقا للمعايير الأمريكية أصبحت مدينة نيويورك تتمتع بأجواء حضرية آمنة وذات معدل جريمة منخفض. فكيف حصل ذلك؟

أساطير الجريمة في گوثام؟[*]

لا يبدو أن هناك أسبابا محلية مختلفة تكمن وراء الانخفاض في معدل الجريمة الذي شهدته نيويورك، والذي كان يوازي الهبوط الأشمل على المستوى الوطني في تسعينات القرن العشرين. ولم يكن من السهل ربط هذا الانخفاض بأسباب محددة سواء على المستوى الوطني أو على مستوى المدينة، ولكن يُرجَّح أن يكون المسؤول في هاتين الحالتين هو المزيج ذاته المؤلف من عمليات الاحتجاز المتزايدة، وارتفاع مستوى الرفاهية، وتقدم السكان في السن، والتأثيرات الدورية الغامضة.

كما سنرى لاحقا، لعله من الأسهل تمييز أسباب نصف عدد هذا الانخفاض تقريبا في مدينة نيويورك والذي هو ظاهرة محلية بامتياز، ومع ذلك، قد تكون الإجابات التي سنعرضها غير متوقعة بالنسبة إلى العديد من الناس.

(*) Gotham Crime Myths
(١) police precinct
(٢) citywide police office



فعلى سبيل المثال، لم تشهد المدينة طوال العشرين سنة التي أعقبت عام 1990 سوى القليل جدا من التغيرات الجذرية التي حدثت في التركيبة الإثنية للسكان، وفي الاقتصاد والمدارس أو الإسكان. وقد هبطت نسبة فئة السكان الأكثر عرضة للتوقيف، ممن تتراوح أعمارهم بين 15 و 29 سنة، بمعدل يساوي تقريبا معدل هبوطها على المستوى الوطني، بينما لم يُسهم النمو الاقتصادي في تخفيض معدل الفقر أو البطالة في مدينة نيويورك – بشكل ملموس – إلى ما دون معدليهما الوطنيين.

أحد الافتراضات الشائعة هو أن المدن الداخلية في الولايات المتحدة صارت أكثر أمنا لأنه قد تم «تنظيفها» أو تطويرها. وهو ما يحصل عندما تبدأ أحياء كانت موبوءة سابقا باستقطاب سكان من ذوي الدخل الأعلى، فيما يتم دفع السكان من ذوي الدخل المحدود تدريجيا لمغادرتها بسبب ارتفاع معدلات الإيجارات والضرائب المفروضة على العقارات. ويسود اعتقادٌ بأنه خلال هذا التطوير، يرحل جميع الفقراء عن هذه الأحياء مما يؤدي بالتالي إلى انخفاض معدلات الجريمة. وبالفعل انخفضت معدلات الجريمة في جزيرة مانهاتن Manhattan، أغنى بلدات مدينة نيويورك، بالتزامن مع انخفاض التنوع الإثني والاقتصادي. أما في البلدات الثلاث الأخرى (كوينز وبروكلين وبرْونْكس) ذات الكثافة السكانية العالية فلم ينخفض التنوع الإثني والاقتصادي بل على العكس استمر بالارتفاع. وعلى الرغم من ذلك، فإن الجرائم قد انخفضت جدا وبمعدلات مشابهة في جميع هذه البلدات الأربع.

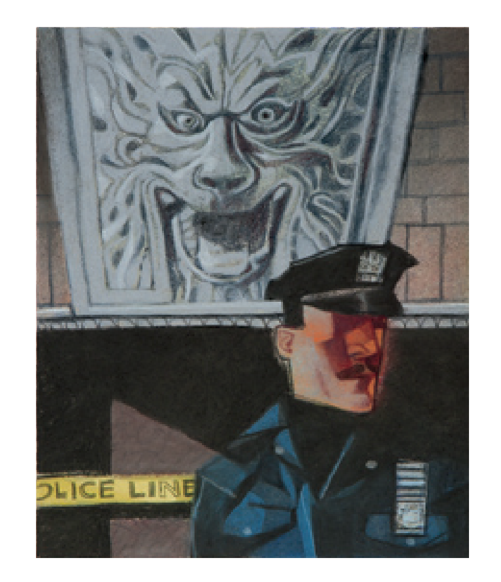
هذا الانخفاض الضخم في جرائم الشارع، لا سيما في بعض أنواعها، يعتبر انخفاضا مدهشا من جانب آخر. فقد كانت نيويورك على مدى سبعة عقود من الزمن على الأقل

(*) A Citywide Cool-off، اسمُ تَحبُّب يطلقه الأمريكيون على مدينة نيويورك، وهو مستمد من حكاية شعبية اسمها «حكماء جوثام»، القرية والأبرشية الموجودة في مقاطعة نوتنگهام شاير في إنكلترا، ومفاد هذه الحكاية أن ملك إنكلترا <جون> أراد أن يجعل من القرية محمية لصيده، بيد أن القرويين (سكان القرية) «حكماء جوثام» احتالوا على رُسُل الملك بأن أوهموهم بأن سكان القرية ليسوا سوى ثلة من الحمقى، الأمر الذي حدا بالملك إلى أن يتخذ له محمية صيد في مكان آخر غير قرية «جوثام». (التحرير)

عاصمة شمال أمريكا في مجال استعمال المخدرات غير المشروعة. وبكل المعايير، فإن نيويورك لا تزال تحتل هذا الموقع. ففي ثمانينات القرن العشرين اقترن ظهور مخدر الكوكايين وانتشاره على نطاق واسع بارتفاع حاد في معدلات جرائم القتل. وكان الاعتقاد بوجود صلة وثيقة بين المخدرات والعنف إحدى النظريات المحفّزة في الحرب على المخدرات التي أعلنت في العقد الذي تلا عام 1985، فحدوث انخفاض ملموس في معدل العنف في أواخر ثمانينات القرن الماضي، من دون حصول تراجع كبير في بيع واستخدام المخدرات غير المشروعة كان حلما مستحيلا. ولكن يبدو أن ذلك هو ما حصل بالفعل في نيويورك.

فقد انخفضت جرائم القتل المرتبطة بالمخدرات (كأن يطلق تجار المخدرات النار على بعضهم بعضا) بنسبة 90% من معدلات الذروة. وفي غضون ذلك يبدو أن معدل استخدام المخدرات بقي ثابتا نسبيا في المدينة، سواء كان المؤشر على ذلك الوفيات الناجمة عن تناول جرعات زائدة، أو المصروفين من المستشفيات بعد المعالجة من الإدمان، أو فحوصات البول للمجرمين المشتبه في تعاطيهم المخدرات. ويبدو أن نيويورك تنتصر في حربها على الجريمة من دون الفوز في حربها على المخدرات.

وأخيرا، وما هو لافت على الأرجح، معارضة سياسات المدينة الناجحة في مكافحة الجريمة للتوجه الوطني الرامي إلى زج أعداد متزايدة من المواطنين في السجون. إذ يفترض النهج التكتيكي الذي هيمن على سياسة مكافحة الجريمة في الولايات المتحدة أن الشباب الذين يشكلون مصدر خطر عالٍ سيصبحون بالفعل مرتكبي جرائم مهما فعلنا، وأن المجرمين سيستمرون بارتكاب الجرائم ما لم يتم إيداعهم السجن. ففي منتصف تسعينات القرن العشرين كان مؤيدو **نظرية العرض**[1] supply side theory في الجريمة يحذرون من أن مدنا مثل مدينة نيويورك ذات الأعداد الكبيرة من شباب الأقليات الناشئين في كنف أُسَر وحيدة المعيل تتطلب استثمارات جديدة هائلة لتأهيل السجون ومرافق الأحداث الخاصة. ومنذ عام 1972 كانت هذه النظريات المؤيدة للعرض هي المبرر الرئيس للتوسع في عمليات الزج في السجون الذي زاد بمعدل سبعة أضعاف في الولايات المتحدة الأمريكية. وفي ثمانينات القرن العشرين شاركت مدينة نيويورك في هذا التوجه. ولكنها في تسعينات ذلك القرن اتخذت لنفسها مسارا مختلفا، فيما كانت أعداد نزلاء السجون و**النَظارات** jail في الولايات المتحدة الأمريكية تزداد بنحو 50%. وفي السنوات السبع الأولى من ذاك العقد لم يرتفع معدل الحبس في نيويورك إلا بنسبة 15% ومن ثم بدأ بالانخفاض. ومع حلول عام 2008 انخفض بنسبة 28% ما دون معدله في عام 1990؛ في حين كان معدل السجن على المستوى الوطني قد ارتفع بنسبة 65%.



في جميع أرجاء البلاد ارتفعت معدلات الحبس بنسبة 65%، بينما هبطت هذه المعدلات في نيويورك وهبطت الجرائم الخطيرة بنسبة 80%.

إذن أين ذهب كل هؤلاء المجرمين؟

يبدو أن العديد منهم قد توقف عن مخالفة القانون. خلال السنوات التي تلت عام 1990 انخفض معدل إعادة سجن المجرمين الذين ارتكبوا مجددا **جنايات**[2] في نيويورك بعد ثلاث سنوات من إطلاق سراحهم إلى 64%، فيما كان هذا المعدل مرتفعا خلال أواخر ثمانينات القرن العشرين. ولا تزال مديرية شرطة نيويورك تلقي القبض على المجرمين، كما لا يزال المدّعون العامون والقضاة يرسلونهم إلى السجون. ولكن المدينة قد خفضت معظم جرائمها الخطيرة بنسبة 80% من دون حدوث أي زيادة صافية في أعداد نزلاء السجون. وتدحض هذه الأرقام المعتقدات الأساسية لنظرية العرض في مكافحة الجريمة.

تقدير مدى تأثير الشرطة(*)

أحد جوانب السياسة الخاصة بالجريمة الذي أجرت البلدية المحلية تغييرات كبيرة عليه هو الجانب المتعلق بسلك الشرطة، هذا هو المرشح الوحيد الذي قد يعود إليه - بوضوح - الفضل الكبير في تراجع معدل الجريمة في المدينة. فبدءا من عام 1990، وظّفت المدينة ما يزيد على 7000 شرطي نظامي، وجعلت إجراءاتها الأمنية أكثر حزما وتركيزا على المناطق ذات النسب

(*) Estimating Police Effects

(1) نظرية اقتصادية تقول إن زيادة الكتلة النقدية المخصصة للاستثمار عن طريق تقليل الضرائب وخاصة تلك الضرائب المفروضة على شرائح المجتمع مرتفعة الدخول سوف تزيد الإنتاجية والنشاط الاقتصادي والدخل في اقتصاد ما.

(2) felony

العالية من الجريمة.

وفي بادئ الأمر، ساد الاعتقاد بأن انتشار عدد أكبر من رجال الشرطة في الشوارع هو السبب وراء الجزء الأكبر من تراجع الجريمة في نيويورك في تسعينات القرن العشرين. ولكن بما أن الجريمة كانت في ذلك الوقت تنحسر على الصعيد الوطني، فإنه من الصعب التكهن بمقدار النجاح الذي أحرزته مدينة نيويورك جرَّاء التبدلات التي اتبعتها في استخدام الشرطة في مقابل مجموعة الأسباب الغامضة ذاتها التي كانت تعمل على الصعيد الوطني. إضافة إلى ذلك، فإن مديرية شرطة نيويورك قامت بعد عام 2000 بتخفيض عديد قوتها الأمنية بأكثر من 4000 شرطي نظامي، ولكن على الرغم من ذلك ظلت معدلات وقوع الجرائم المسجَّلة تتراجع وبوتيرة أسرع من تراجعها في المدن الكبيرة الأخرى.

ومع ذلك، فإن إلقاء نظرة متمعنة على البيانات الصادرة عقب عام 2000 يشير بالفعل إلى أهمية الإجراءات الأمنية. وعلى الرغم من خسارة 4000 شرطي، لا تزال الفترة الأخيرة تشهد وجود أعداد أكبر بكثير من رجال الشرطة في الشوارع مقارنة بالعام 1990. كما أن نسبة عدد رجال الشرطة إلى معدل الجريمة ظلَّ متناميا لأن الجريمة قد تباطأت بوتيرة أسرع من وتيرة تقلص قوائم أعداد الشرطة. ومن الممكن أيضا أن تكون الآثار التراكمية للزيادة في أعداد رجال الشرطة قد استمرت خلال العقد الذي شَهِد تقليص عدد القوة الأمنية. وينعكس تأثير قوات الشرطة في حقيقة أن مدينة نيويورك شهدت تراجعا كبيرا في معدلات الجريمة التي تقع في الشارع أو تلك التي تحتاج إلى الشارع لتنفيذها مثل عمليات سرقة المنازل والسطو وسرقة السيارات، التي تم ردعها بشكل خاص بواسطة الحضور المتزايد لرجال الشرطة.

ولم تقتصر جهود مديرية شرطة نيويورك على زيادة أعداد إضافية من رجال الشرطة في الشارع فحسب، وإنما قامت أيضا بتنفيذ عدد من الاستراتيجيات الجديدة. ومن الصعب تحديد مقدار إسهام كل تغيير من هذه التغييرات الأمنية على حدة، فيما لو وجد مثل هذا الإسهام، ولكن هناك بعض المؤشرات الواضحة التي ظهرت علنا.

ومرة أخرى، فإن التفسيرات البسيطة لا تبدو مفيدة كثيرا. فلم تكن في الواقع بعض أبرز الحملات التي شنتها السلطات إلا مجرد شعارات، بما في ذلك الحملة التي جاءت تحت شعار «**لا تسامح على الإطلاق**»[١] واستراتيجية **النوافذ المكسورة** broken windows، وهي نظرية ترى أن اتخاذ إجراءات مثل إصلاح النوافذ المكسورة وتنظيف الجدران من الرسوم والنقوش وقمع الجرائم البسيطة يحول دون دخول الحي السكني في دوامة الخراب، ويؤدي في نهاية المطاف إلى وقوع عدد أقل من الجرائم الخطيرة. فعلى سبيل المثال، لم تقم مديرية شرطة نيويورك بزيادة عمليات الاعتقال بجرم الدعارة كما أنها لم تكن ملتزمة طوال الوقت في إنفاذ القوانين الخاصة بالمقامرة أو الجرائم المُنكرة الأخرى.

ولكن يبدو أن حملات أخرى كان لها تأثير مهم في الجريمة. فلو أن المدينة تابعت إجراءاتها الأمنية حسب استراتيجية النوافذ المكسورة لكانت وظَّفت موارد ثمينة في الأحياء الهامشية بدلا من تركيزها على الأحياء ذات المعدلات العالية للجريمة. وحقيقة فإن الشرطة قد فعلت العكس: لقد شددت على استراتيجية «النقاط الساخنة» التي أثبتت فاعليتها في مدن أخرى والتي من شبه المؤكد أنها أدت دورا كبيرا في مدينة نيويورك. وبدءا من عام 1994 تبنت المدينة أيضا نظاما لإدارة وتنظيم البيانات يُدعى **كومبستات** CompStat. ففي مكتب مركزي يقع في وسط مانهاتن، يقوم المحللون بتجميع البيانات حول الجرائم الخطرة، بما في ذلك المواقع التي حدثت فيها على وجه التحديد، ورسمها بالتفصيل لتحديد المواقع المهمة لتمركز الجريمة. ومن ثم يتم فرز الدوريات الأمنية بكامل قوتها إلى الموقع – سواء كان هذا الموقع رصيف شارع أو إحدى الحانات أو أي مكان عام آخر – بمهمة تمتد أسابيع في بعض الأحيان، حيث يقومون بشكل منَّظم بإيقاف وتفتيش كل من يتم الاشتباه فيه، مع مراقبة الآخرين بشكل دقيق. ومع أن المرء يتوقع أن يحوِّل المجرمون نشاطهم الإجرامي إلى شارع آخر يعاودون مزاولته كالمعتاد، إلا أن هذا الأمر لم يحصل في نيويورك. ومن ثَمّ، فإن الجرائم التي مُنع ارتكابها في موقع معين في أحد الأيام لا تستوجب بالضرورة ارتكابها في مكان آخر في اليوم التالي.

ولعل التغيير الأكبر والأكثر تكلفة في الأسلوب التكتيكي الذي اتبعته الشرطة يكمن في البرنامج الحازم الذي انتهجته في عمليات التوقيف في الشوارع واعتقال مرتكبي الجُنَح التي تعمد لها الشرطة في كل دورية تقريبا. ففي عام 2009 قام ضباط الغرامات في نيويورك بإيقاف ما يزيد على نصف مليون من المارَّة في الشارع واعتقال نحو ربع مليون من مرتكبي الجُنَح. وتعتقد الشرطة أن هذه الأساليب التكتيكية تساعد على منع ارتكاب الجريمة. ومع أن هذه الدوريات النشيطة والحازمة لها تاريخ طويل مماثل لتاريخ عمليات فرض الأمن في الشارع، إلا أن مدى تأثيرها لم يكن واضحا على الدوام. كما قد تكون هذه الدوريات مبدئيا أقوى تأثيرا في نيويورك عن سائر

(١) أو حرفيا «صفر تسامح» zero tolerance، إنها نظرية تقول بفرض عقوبة تلقائية محددة مسبقا لمن يخرق القانون، بغض النظر عن مسؤوليته الفردية عن الجريمة وعن الظروف المخففة وعن سيرته السابقة. (التحرير)

الأماكن الأخــرى، إلا أن الدليل بأنها تضيف قيمة متميزة إلى استراتيجيتي النقاط الساخنة وكومبستات ليس بالدليل القوي.

الدروس المستقاة(*)

إن التأكد بشكل جازم من الأساليب التي قد تنجح وتلك التي قد تفشــل يتطلب إجراء اختبارات علمية ميدانية تقيس مدى فعالية القوى البشرية الإضافية ومدى تأثير الأساليب الأخرى مــن **مجموعــة الأســاليب التكتيكيــة المتوفــرة**(1) في جعبة مديرية شرطة نيويورك. ومن ثم ينبغي إجراء تعديلات تتواءم مع المواقع الحضرية الأخرى باتبــاع مبدأ التجربة والخطأ. حتــى وإن كانت الأمور لا تزال في بدايتها فإن اســتقاء عدد من الدروس من تجربة مدينة نيويورك له تأثير مهم في سياسة الجريمة في أماكن أخرى.

فأولا، لرجال الشرطة دور مهم. فطوال فترة جيل على الأقل، كانت الحكمة التقليدية في نظام العدالة الجنائية الأمريكية تشكك في قدرة شــرطة المدن على إحداث اختراق مهم أو مستدام في مجــال الجرائم المدنية. ومــع أن تفاصيل الجدوى الاقتصادية للتكلفة والأســاليب التكتيكية المثلى لا تزال غير محددة بعد، إلا أنه من الواضح أن الاســتثمار في سلك الشرطة يعد بمكاسب توازي في قيمتها على الأقل مكاســب الاستثمارات في الفروع الأخرى لمكافحة الجريمة في الولايات المتحدة.

هناك درســان مهمان آخران يمكن اســتخلاصهما أيضا وهما: تخفيض نســبة الجريمة لا يقتضــي بالضرورة التقليل من اســتخدام المخدرات أو إيداع أعداد هائلة من المواطنين في السجن. وبشكل عرضيّ، فإن الفارق بين توجهات الحبس التي عملت بها شــرطة نيويورك وبين تلك المعمول بها في بقية أنحاء البلاد، والأموال التــي تجنبت المدينة وحكومات الولاية ضخها في مجال الأعمال الإصلاحيــة، قدمت ما هو أكثر من الإنفاق على التوسع في قوى الشرطة في المدينة.

ومن سوء الحظ، فإن نجاحات نيويورك في مجال مكافحة الجريمة لم تكن من دون ثمن، وتوزّع ذلك الثمن بشــكل غير متســاو على أحياء المدينة والتجمعات السكانية الإثنية. فلم يكن حزم الشرطة سوى **ضريبة رجعية**(2): فعمليات التوقيف في الشارع، والتعنيف والاعتقالات المبنية على أحكام مسبقة كانت تقع بنســب متفاوتــة على كاهل الشــبان الملونين في الأحياء التــي يقطنونها، إضافة إلى الأطــراف الأخرى من المدينــة التي يغامــرون في دخولهــا. إلا أن فوائد انخفاض معدل الجريمة يكون لصالح الفقراء بنســب أكبر من غيرهم، وهذا من المفارقات، ففي ذات الشــريحة من الشــباب ذوي البشــرة الداكنة التي تعاني أكثر من غيرها تعنيف الشرطة انخفضت لديهم نسب الوفاة نتيجة العنف الممارس ضدهم، وكانت معدلات دخول السجن لديهم أدنى مما هو عليه الحال في المدن الأخرى. ونحن لا نعلم بعد ما إذا كانت هذه الفوائد ذات علاقــة بالحزم الزائد لرجال الشــرطة، ولا ندري أيضا ما هو مداها.

وإذا مــا اســتمرت نيويورك بالنهج ذاتــه، فربما يصير بمقدورها تحقيق انخفاض أكبــر في معدلات الجريمة. ومع ذلك، وحتى بعد التحسن الهائل الذي شهدته المدينة، لا تزال معــدلات جرائم القتل أعلــى بكثير من مثيلاتهــا في معظم كبريــات المدن الأوروبية، وأعلى بســتة أضعاف من معدلات مدينــة طوكيو. ولكن ربما في مرحلــة ما قد يكون من الممكن أن تنخفض هذه المعدلات إلى نسبة متدنية جدا، وعندها فإن تحقيــق أي تقدم إضافي يتطلب حلّ المشــكلات الاجتماعية الأعمق، مثل عدم المســاواة الاقتصادية، والتمييز العنصري، أو عدم الحصول على تعليم جيد.

لعل الــدرس الأكثر تفاؤلا الذي يمكن اســتخلاصه من تجربة مدينة نيويورك هــو أن معدلات القتل العالية وعمليات السلب ليست متأصلة في طبيعة سكان المدينة ولا في ثقافاتها أو مؤسســاتها. فالهبوط الثابت والكبير والشــامل على نحو تراكمــي في معــدلات الجريمة في مدينة نيويــورك ليس إلا برهانا على أن المدن، على النحو الذي نعرفها به، لا تستدعي أن تكــون بالضرورة حاضنات لجرائم الســطو والاغتصاب وحــوادث **الأذى المتعمد**(3). إضافة إلى ذلك، فإن هذا يبين أن البيئة التي يترعرع فيهــا الناس لا تحتم عليهم حياة خارجة علــى القانون، كما لا تقــوم جيناتهم بذلــك. فالنتيجة مثيرة للدهشــة بشــكل أساســي للعديد من الطلبة الذين يدرسون في هــذه المدينة الأمريكية، وهي الرؤيــة الأكثر تفاؤلا للعلوم الجنائية خلال قرن من الزمن. ■

(*) Lessons Learned

(1) full kitchen sink of tactics

(2) regressive tax

(3) mayhem

مراجع للاستزادة

Fairness and Effectiveness in Policing: The Evidence. Edited by Wesley Skogan and Kathleen Frydl. National Academies Press, 2004.

The Crime Drop in America. Second edition. Edited by Alfred Blumstein and Joel Wallman. Cambridge University Press, 2006.

New York Murder Mystery: The True Story behind the Crime Crash of the 1990s. Andrew Karmen. New York University Press, 2006.

The Great American Crime Decline. Franklin E. Zimring. Oxford University Press, 2008.

The City That Became Safe: What New York Teaches about Urban Crime and Its Control. Franklin E. Zimring. Oxford University Press (in press).

Scientific American, August 2011

تتمة الصفحة 65 (تطور العين)

في الوجه الخارجي للجنين **الإكتوديرم**[١]، يبرز نحو الفراغ المقعر الذي تشكله الشبكية على هيئة الحرف C. وينفصل هذا البروز في النهاية عن سائر الإكتوديرم ويصبح عنصرا يعوم بطلاقة. ويبدو أن تسلسلا مماثلا من الأحداث جرى خلال التطور. لا نعرف تحديدا متى حدث هذا التعديل، ولكن باحثين من جامعة لوند في السويد أثبتوا في سنة 1994 أن المكونات البصرية للعين يمكن أن تكون قد تطورت بسهولة خلال مليون سنة؛ وإذا كان الأمر كذلك، تكون العين المشكلة للصورة قد نشأت من العين اللابصرية البدئية خلال لحظة بالمقاييس الجيولوجية.

ومن ثم ازدادت مقدرة العين على جمع المعلومات زيادة عظيمة مع إضافة العدسة لجمع الضوء وتركيز الصورة. فأدت هذه الزيادة إلى ضغوط **انتقائية** selective تفضِّل تحسُّن معالجة الإشارة في الشبكية أكثر مما يقدمه الاتصال البسيط بين المستقبلات الضوئية وعصبونات الإخراج. وقد لبى التطور هذه الحاجة بتعديل عملية نضج الخلايا فتحولت بعض الخلايا النامية إلى الخلايا الثنائية القطب للشبكية تنغرز بين طبقة المستقبِلات الضوئية وطبقة عصبونات الإخراج بدلا من أن تشكِّل مستقبلات ضوئية هدبية. هذا هو سبب الشبه الكبير بين الخلايا الثنائية القطب للشبكية وبين العصيّ والمخاريط، مع أنها لا تحوي رودوبسيناً وتتلقى الإدخال ليس من الضوء بل من المادة الكيميائية (التي تسمى **الناقل العصبي**[٢] neurotransmitter) التي تنطلق من المستقبلات الضوئية.

مع أن العين من نمط الكاميرا تؤمِّن حقلا بصريا واسعا (في الحالة النموذجية نحو 180°)، إلا أن الدماغ عمليا لا يستطيع في الواقع **اعتيان**[٣] سوى جزء يسير من المعلومات المتوفرة في أي وقت من الأوقات بسبب العدد المحدود من الألياف العصبية التي تربط عيننا بدماغنا. ولا شك في أن المراحل المبكرة من تطور العين من نمط الكاميرا تعاني قصورا أشد، فمن المفترض أن عدد الألياف العصبية فيها كان أقل. ومن ثمّ كان هناك ضغط انتقائي ملموس لتطوير العضلات من أجل تحريك العين. وكان من الضروري وجود مثل هذه العضلات قبل 500 مليون سنة؛ لأن ترتيب هذه العضلات في الجلكة – الذي يعود سلالته إلى تلك الفترة – تكاد لا تختلف عن ترتيبها عند الفقاريات الفكية، بما فيها البشر.

مع كل المميزات المبتكرة التي بناها التطور في عين الفقاريات، هناك عدد من السمات غير الأنيقة والمتعمدة. نجد مثلا أن الشبكية مقلوبة، وعلى الضوء أن يخترق كامل سمكها، عبر الألياف العصبية المتداخلة وأجسام الخلايا التي تبعثر الضوء وتقلل من جودة الصورة، قبل أن يصل إلى المستقبلات الحساسة للضوء. كذلك تبطن الأوعية الدموية السطح الداخلي للشبكية وتلقي ظلالا غير مرغوبة على طبقة المستقبلات الضوئية. أيضا توجد في الشبكية بقعة عمياء حيث تتجمع الألياف العصبية التي تغطي سطحها قبل أن تخترق الشبكية لتظهر وراءها **كالعصب البصري**[٤]. وتطول القائمة.

وهذه العيوب ليست صفات لا مفرّ منها لتصميم العين على شكل كاميرا، لأن الأخطبوط والحبار تطور لديها – بشكل مستقل – عين من نمط الكاميرا لا تعاني هذه النقائص. وبالفعل، لو أن مهندسين صمموا عينا فيها النقائص الموجودة في عيننا لطُردُوا من عملهم على الأغلب. ودراسة عين الفقاريات ضمن إطار التطور تكشف أن هذه العيوب التي تبدو منافية للعقل ليست إلا نتيجة لتتالي عدد من الخطوات التي قدمت كل خطوة منها منافع لأسلافنا من الفقاريات القدامى حتى قبل أن يستطيعوا الإبصار. إن تصميم عيننا ليس ذكيا، ولكنه يصبح معقولا إذا نظرنا إليه في الضوء الساطع للتطور. ■

(١) ectoderm
(٢) أو: الناقل النوروني
(٣) sample
(٤) optic nerve

مراجع للاستزادة

Evolution of the Vertebrate Eye: Opsins, Photoreceptors, Retina and Eye Cup. Trevor D. Lamb et al. in *Nature Reviews Neuroscience,* Vol. 8, pages 960-975; December 2007.

The Evolution of Eyes. Special issue of *Evolution: Education and Outreach,* Vol. 1, No. 4, pages 351-516; October 2008.

The Evolution of Phototransduction and Eyes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B,* Vol. 364, No. 1531, pages 2789-2967; October 12, 2009.

Scientific American, July 2011

كَشّاف موضوعات مجلة العلوم
2011

نورد في هذا الكشاف المقالات التي نشرت في العلوم عام 2011 (المجلد 27)، ونضع إلى يسار عنوان كل مقالة (*رقم العدد – رقم الصفحة*).
وقد تم ترتيب هذه المقالات *ألفبائيا* ضمن تخصصاتها المعروضة في الإطار أدناه مرتبة *ألفبائيا* أيضا بعد إهمال «أل» التعريف وكلمة «عِلْم» ومشتقاتها:

علم الاجتماع

استطلاعات للرأي

اقتصاد

بدايات

علوم بيئية

بيولوجيا

التطور

تقنيات

جيولوجيا [علوم الأرض]

علم الحياة

طاقة

علوم طبية وصيدلانية

علوم عصبية

علم الغذاء

فيزياء، رياضيات

كوسمولوجيا [علم الكون]

أبواب ثابتة

أخبار علمية

اسألوا أهل الخبرة

تنميات مستدامة

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF: Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR: Ricki L. Rusting
CHIEF NEWS EDITOR: Philip M. Yam
SEnIor writeR: Gary Stix
EDITORS: Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong
CONTRIBUTING EDITORS: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson

ASSOCIATE EDITORS, ONLINE: David Biello, Larry Greenemeier
NEWS REPORTER, ONLINE: John Matson
ART DIRECTOR, ONLINE: Ryan Reid

ART DIRECTOR: Edward Bell
ASSISTANT ART DIRECTOR: Jen Christiansen
PHOTOGRAPHY EDITOR: Monica Bradley

COPY DIRECTOR: Maria-Christina Keller

EDITORIAL ADMINISTRATOR: Avonelle Wing
SENIOR SECRETARY: Maya Harty

COPY AND PRODUCTION, NATURE PUBLISHING GROUP:
SENIOR COPY EDITOR, NPG: Daniel C. Schlenoff
COPY EDITOR, NPG: Michael Battaglia
EDITORIAL ASSISTANT, NPG: Ann Chin
MANAGING PRODUCTION EDITOR, NPG: Richard Hunt
SENIOR PRODUCTION EDITOR, NPG: Michelle Wright

PRODUCTION MANAGER: Christina Hippeli
ADVERTISING PRODUCTION MANAGER: Carl Cherebin
PREPRESS AND QUALITY MANAGER: Silvia De Santis
CUSTOM PUBLISHING MANAGER: Madelyn Keyes-Milch

PRESIDENT: Steven Inchcoombe
VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION: Frances Newburg

VICE PRESIDENT, FINANCE AND BUSINESS DEVELOPMENT: Michael Florek
BUSINESS MANAGER: Marie Maher

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag


November / December - 2011 Volume 27 Number 11/12 SCIENTIFIC AMERICAN

مؤسسة الكويت للتقدم العلمي (*)
توزع جوائزها لعام 2010
جائزة معرض الكويت الخامس والثلاثين

أفضل كتاب مؤلَّف في العلوم باللغة العربية

كتاب

الحياة في البحار والخليج العربي

تأليف:

د. سليمان المطر

أ. عبدالرحمن يوسف

أ. عادل الصفار

يعرض هذا الكتاب خواص البحار وبيئاتها المختلفة من جهة، والأعمال والإنتاجية الأولية واختلافاتها بين البحار من جهة أخرى؛ كما يتطرق إلى القوى المحركة للحياة في البحار وطبيعة تكويناتها، وكذلك الكائنات الحية التي تعيش فيها وصفاتها وطرق استغلالها والمحافظة عليها. ويَخلص الكتاب إلى أهمية تلك المكونات لشعوب الخليج العربي، وبالأخص دولة الكويت، وكيفية المحافظة على بيئتها واستغلال مواردها.

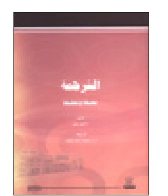
ويتطرق الكتاب في فصله العاشر إلى «**إدارة الثروة السمكية**»، ويتناول في فصله الأخير موضوع «**استزراع الأسماك**.» ويُختتم الكتاب بمسردٍ «للأسماء والمصطلحات العلمية باللغتين العربية والإنكليزية.»

الناشر: ***معهد الكويت للأبحاث العلمية*** - *الكويت*

أفضل كتاب مترجم إلى اللغة العربية في الفنون والآداب والإنسانيات

كتاب

الترجمة فهمها وتعلمها



تأليف :

Daniel Gile

ترجمة :

أ. د. محمد أحمد طجو

كتاب علمي تعليمي يعرض فنا متخصصا من علوم اللغات، وهو نتيجة خبرة طويلة وتجريب في تعليم الترجمة. وقد وضع الكتاب أساسا ليكون كتابا منهجيا وجيزا في هذا المضمار يعتمد على مفاهيم ونماذج بسيطة نسبيا وبحث على التفكير في سياق الترجمة وقيودها.

ويشدد الكتاب على الأمانة العلمية في الترجمة، ويركز على نقاط بالغة الأهمية فيما يتعلق بالترجمة الاحترافية (تحريرية كانت أو شفهية).

يعد هذا الكتاب إضافة علمية قيمة إلى المكتبة العربية.

الناشر: ***جامعة الملك سعود*** - *الرياض*

أفضل كتاب مؤلَّف عن الكويت

كتاب

الكويت في البطاقات البريدية

جمع وإعداد:

أ. علي غلوم رئيس

كتاب يوثق ماضي الكويت بواسطة البطاقات البريدية؛ فبصورها الجميلة تعرض هذه البطاقات بعض معالم الكويت وتطور نهضتها، بالكثير من تفصيلات هذا التطور وإيحاءاته، وبخاصة إبان الفترة التي واكبت ظهور النفط في الكويت. وغالبا ما تحمل البطاقة نبذة عن مضمون الصورة المسجلة عليها، والجهة التي أصدرتها.

الناشر: ***مركز البحوث والدراسات الكويتية*** - *الكويت*

أفضل كتاب مؤلَّف للطفل العربي

كتاب

الأساطير الذهبية

الجزءان الأول والثاني



تأليف :

*الأستاذة **هدى مصطفى***

رسوم:

عبد العال

يتميز هذا الكتاب المعد للطفل العربي بكونه يروي قصصا يمتزج فيها الخيال بالواقع الملموس نسقتها الكاتبة بأسلوب متمكن ومحبب إلى الطفل العربي. وتشكل تلك القصص المروية نماذج تربوية جميلة تغرس الخير في نفس الطفل وتبعده عن أعمال الشر. وتتأصل هذه النماذج في وجدانه وضميره، بطريقة سلسة وميسرة، بالاستعانة بالصور والأشكال الشيقة.

كما تتضمن تلك القصص مفردات لغوية وتربوية كثيرة تستهدف زيادة الحصيلة التعليمية لدى الطفل وتوسيع مداركه اللغوية والخيالية.

الناشر: ***الدار المصرية اللبنانية*** - *القاهرة*

(*) **مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**

www.kfas.org

prize@kfas.org.kw